

社会史より見た土木の検証と新しい展開

A Critical Review of Civil Engineering from a View Point of
Social History and its Future Development

2013 年 2 月

富松 義晴

Yoshiharu TOMIMATSU

社会史より見た土木の検証と新しい展開

A Critical Review of Civil Engineering from a View Point of
Social History and its Future Development

2013年2月

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

富松 義晴

Yoshiharu TOMIMATSU

論文もくじ

第1章 序論	1
1. 1 研究の目的	1
1. 2 本論文の構成	2
第2章 社会史の中での日本土木史	5
2. 1 社会史の中での土木事業と公共性	5
2. 2 日本土木史の時代区分	6
2. 3 律令制以前の社会と土木事業（～7世紀末）	6
2. 4 律令制下の土木事業（7世紀末～13世紀末）	10
(1) 律令国家の性格	10
(2) 律令制下の社会及び土木事業と背景	11
2. 5 封建制下の土木事業（14世紀～幕末）	19
(1) 封建制下の社会	19
(2) 封建制下の土木事業と背景	20
2. 6 明治以降の土木事業（明治維新～）	24
(1) 維新政府の性格と社会	24
(2) 明治以降の土木事業と背景	24
(3) 第二次世界大戦後の土木事業	25
2. 7 まとめ	26
第2章の参考文献	27
第3章 土木界を取り巻く社会状況とその根源	29
3. 1 土木界を取り巻く社会状況	29
3. 2 現代社会の思想的背景	29
3. 3 社会と土木界における公共概念の欠如の歴史的背景	32
(1) 公共概念の欠如	32
(2) 合意形成の仕組みの欠落	35
3. 4 土木事業の閉塞感	36
3. 5 土木技術者の自信喪失と資質の低下	37
3. 6 社会的評価の低落	38
第3章の参考文献	39

第4章 土木技術者と土木の新たな地平の展開	40
4.1 土木技術者に課せられた課題と役割、新しい土木のあり方の提示	40
4.2 地球環境の悪化と自然災害の増加	40
4.3 土木技術者と土木のあり方	41
(1) 土木技術者の持つべき思想と自然観	41
(2) 土木技術者, 土木事業の公共哲学の確立	42
4.4 新しい土木の展開へのロードマップ	44
4.5 新しい土木の展開への決意と施策の実施	47
第4章の参考文献	48
第5章 土木再生に向けた安全・安心社会構築のための技術開発	50
5.1 自然災害軽減と地球環境負荷低減のための技術開発	50
5.2 地震災害を軽減する制震構法の開発と普及	52
(1) 地震災害の発生の危険性と建物の地震対策の現状	52
(2) 増幅機構付き制震構法の開発	53
(3) 2011年東北地方太平洋沖地震における効果の検証	55
(4) 5.2のまとめ	59
5.3 地盤の空洞を充填し安全を確保する技術の開発と適用	60
(1) 全国に広がる空洞の危険性と対応策の現状	60
(2) 地下空洞の分布と空洞の崩壊による地表の陥没と沈下の被害	60
(3) 空洞充填工法の開発	65
(4) 限定充填工法の開発	67
(5) 5.3のまとめ	69
5.4 持続可能社会へ向けた土木事業における木材利用の提案	71
(1) 木材の特徴と利用の意義	71
(2) 土木事業における木材利用の提案	72
(3) 5.4のまとめ	79
5.5 土壌汚染対策技術の開発	81
(1) 土壌汚染対策技術の現状	81
(2) 金属ナトリウムによる脱ハロゲン化技術	81
(3) 5.5のまとめ	85

5. 6 水質汚染対策技術の開発	86
(1) 水質汚染対策技術の現状	86
(2) 高効率気液混合装置を用いた水質浄化システム	86
(3) 5. 6のまとめ	93
第5章の参考文献	93
第6章 結論	96
あとがき	101
謝辞	103
付録1 日本の墳径135m以上の巨大古墳	104
付録2 空洞充填工法の施工実績	106
研究業績	108

第1章 序論

1. 1 研究の目的

著者は、土木をこよなく愛する一土木技術者である。土木屋として一步を踏み出した1968年（昭和43年）当時は、名神高速道路の開通（1963年）、東海道新幹線の開業（1964年）の直後であり、その後の日本列島改造論のもとに交通網の地方への延伸や大規模開発がスタートする時期であった。戦後の復興に続く高度経済成長期にあたり、土木事業は我が国の経済成長に大いに貢献した時代であった。

土木技術者にとって、暮しを豊かにし、地方に産業を興すための道路網や新幹線の建設は、国民が期待し、これらの技術に称賛を得て、土木事業に大いなる誇りと希望を持たせた時期でもあった。その頃、著者は、トンネル技術者として施工現場で自然と対峙し、大出水やトンネルの崩落、膨張性地山との格闘などを経験し、どんな過酷な状況でも技術をもってすれば自然（山）を征服することが出来ると慢心していたが、その思い上がりは、トンネル工事に従事するなかで、以下に示すある出来事により一瞬のうちに打ち砕かれてしまった。

1975年頃、ロックボルトと薄肉吹き付けコンクリートで支保するNATM工法(New Austrian Tunneling Method)がヨーロッパから導入され、新幹線の現場などで使われ始めた。当時、トンネルの掘削技術は経験の技術であるとされていたが、NATM理論を理解し採用することで“科学的”にトンネルが掘れると、競ってNATM工法が採用された。1985年、Sトンネル現場で大崩落事故が発生した。理論上3メートルのロックボルトを密に打設すれば地山は支保出来るはずなのだが、見事にその以奥から大崩落を起した。地山は実験室の砂と違い均質ではなかった。この様な結果から、自然（山）は、不明なことを実在のモデルと合わない「仮定」として組み立てた理論で征服できるほど甘いものではないことを思い知らされた。以来、自然（山）との対話に心がけることで、自然（山）から変状と対策を教えてもらえるようになった。自然と向き合う土木技術者は自然に対し決して傲慢であってはならないことを肝に銘じる出来事であった。

一方社会は、1970年頃から高度経済成長のひずみである大気・水質汚染、騒音被害などのいわゆる公害問題や、大規模開発に伴う環境破壊が顕著になり始めていた。更に、1973年には第一次オイルショックが起き、省資源型の経済構造へ転換していったが、1985年～1991年のバブル期には、建設業界も様々な新規事業に進出し活況を呈した。しかし、バブル経済が破綻し国の財政が急速に悪化してくると、(1) 社会基盤はすでに充足した、(2) 公共工事には不正が付きまとう、そして、(3) 土木事業は自然環境を破壊するなどの社会からの批判を浴び、大幅な予算の削減が行われてきた。

この様な、社会環境が激変し続ける中、土木界はひたすら土木界内部だけの論理を「正」とし時代の変化に対応しては来なかった。社会より批判を浴びた談合問題にしても、会計法の予定価

格が存在する限り価格のつり上げはあり得無いし、工事以前の構造物の品質や技術を価格で競争するのにはなじまないなど、談合がすべて悪とは言いきれないことは殆んどの人が解っていないが、不正とからんだ談合問題が発生するようになり、口を噤んでしまった。漸く、“過去との決別”という形で、土木技術者が常に抱いていた暗い呪縛から解き放たれはしたが、無節操な過当競争が土木業界の混乱に拍車をかけている。

こうした土木界に対する社会の批判やそれに起因する土木界及び土木技術者のモヤモヤとした閉塞感と過度の自信喪失は看過できない状況である。著者自身、いやしくも、10年近く建設業の経営に携わりながら問題解決に貢献できなかったことに忸怩たる思いを持っている。

本論文は、トンネル技術者として自然と向き合い格闘した約20年間の体験と、後半十数年の企業経営者として土木界に身を置いた経験を踏まえ、社会の変化の中で、現在の土木界を取り巻く閉塞感の真の要因を検証し、その打開策と次代の方向性を明らかにすることを目的としている。

1. 2 本論文の構成

第1章（本章）では、論文の目的と構成について述べる。

第2章では、現在の土木の閉塞的な状況の背景を日本の歴史の中でさぐる。古代から現在までの土木事業が社会の中で、一般民衆にとってどんな位置づけであったかを示し、公共の意識が社会の形成とともに芽生えてきた経緯について述べる。

まず、土木の歴史の変換点を、生活様式や価値観が劇的に変わる文明の転換期である、

(1) 律令制が始まった7世紀末、

(2) 貨幣経済が浸透し身分の格差が広がり現在の集落の形が形成され、自然に対する価値観が大転換していった14世紀初頭、

(3) 封建社会が終わり近代国家に生まれ変わった1868年の明治維新、
の三つの時期に分離して、各々の時代における、民衆社会の状況と、土木事業の背景を明らかにした。

最後に、明治維新までの土木事業は、おおむね権力維持の要求に沿って企てられ、時に民衆の生活を圧迫したこと、明治以降は急速な欧米化のもと、“市民の公共”としての視点は多くの場合排除され“政府の事業”として行われた事を述べる。

第3章では、第2章で述べた歴史の中での土木の位置づけが原因となって現れた、現在の土木界を取り巻く閉塞的な状況の諸要因とそれらの関連性について考察し、土木技術者や土木事業に対する社会的批判は十分根拠のあることであり、事実を認めることが重要であることを述べる。

特に、(1) 利益至上主義の市場経済の社会の中で、土木技術者が技術者倫理の不足や工学者としての良心の欠如に陥っている事実は、心して自省すべきであるとしている。

更に、(2) 土木界が陥っている閉塞状況の思想的背景は、我が国が明治以降、ほぼ丸のみで取

り入れた近代ヨーロッパ科学技術文明と、その指導原理であるデカルト哲学を起点とする近代ヨーロッパ哲学にあるとしている。

また、(3) 土木事業に対する嫌悪感にも似た批判は、我が国の公共事業が、“民による公共性”を担保していないことによるものであり、その原因は、国民が共感し合意した「公共哲学・公共の理念」が形成されていないことを述べる。

第4章では、第2章、第3章を踏まえ、新しい土木の在り方（方向性）と土木技術者の役割について述べる。まず、明治以降、“自然は人間によって改変されるべきもの”という近代ヨーロッパの思想下で、急速な社会基盤の整備が行われたが、無制限に資源を採取し続けた結果、地球的規模での自然生態系の破壊が進行している現状を述べる。

つぎに、土木技術者のあるべき姿として“公共哲学”の確立と、西欧的自然観から、自然との折り合いを大切にする日本人の自然観への回帰を訴える。さらに、公共性は正義（公平）、平和、福祉、環境を理念とし、「公開と討論」によって合意形成され、正当化されるとした。さらに、政府、自治体、企業など土木事業企画者と国民や地域住民との間で「公共性の担保と検証」を担う中間組織としての学協会やNPO法人の必要性について述べている。また、私企業においても、私益の追求は公共益を前提とすべきであることについて述べている。

これらを受けて、土木の目標は「生態系の復元と人工生態系（人間が管理し制御する領域の生態系）の循環をベースとした持続可能社会」の確立と「地域の特性に合い且つ公共性が担保された安全・安心社会」を作り上げることであり、そのロードマップを示した。そして、公共性の高いこのような役割が担えるのは、高い倫理観と工学者としての良心を兼ね備えた、真の意味であるべき姿の土木技術者であること、土木技術者は自然を畏怖し自然に対して謙虚な対応で人工生態系の循環技術の開発を急ぐべきであることを述べる。

最後に、著者自ら、このような技術者となるべく、地球環境問題の解決に取り組む決意とそのために行った施策を示した。

第5章では、第4章で述べた、土木技術者のあるべき姿を実現するべく、具体的に、著者自らが建設業経営者の立場で経営上の重点施策として、土木再生に向けた安全・安心社会構築のための自然災害軽減と環境負荷低減に関わる技術開発とその普及について述べる。自然災害軽減技術と環境負荷低減技術の開発は、現在の地球が直面する危機を打開するのが、あるべき姿の土木技術者の責務ととらえ、建物の安全性確保・地盤の安全性確保といった防災、大気・土・水といった環境における主要因に対する取り組みとして、建物の制震技術、空洞の安全確保技術、軟弱地盤や液状化地盤対策技術、CO₂削減のための土木工事における木材利用、土壌汚染対策技術、水質汚染対策技術について述べる。具体的には、建物の地震時安全性を確保するトグル制震構法、地盤内の空洞の安全性を確保する空洞充填工法、土木工事に木材を利用することで、軟弱地盤対策や液状化地盤対策と、地球温暖化の原因とされるCO₂削減を同時に達成する技術、ダイオキシン

ン汚染土壌の浄化技術、閉鎖水域の水の浄化技術について、関連技術分野の現状と開発の背景、実施した技術開発、その適用事例について述べる。

第6章では、以上の議論を踏まえ、本論文の結論を述べる。

第2章 社会史の中での日本土木史

2. 1 社会史の中での土木事業と公共性

現在の建設業界の閉塞的状況を解決するための提言が、数多くなされている（例えば文献 1）、2)など）が、その閉鎖的状況の根本的な原因を、日本の土木史の中に求めたものは少ない。著者は、土木がその公共性ゆえに、社会や一般民衆とは切っても切れない関係にあり、歴史の中でどのように位置づけられてきたかが、現在の土木のおかれている状況に大きく影響していると考え、まず社会史の中での土木事業の検証を試みる³⁾。各時代に於ける民衆にとっての土木事業の位置付けと、その企画者と目的について考察する。

日本の土木史に対する関心が高まり、それに関する論文も数多く発表されている。それらを分類すると、事例研究、或いは特定構造物のその地域での長期的評価、人物史、構築物の理論的な解析などの報告が主である。武部は、土木史研究の20年を機に、その成果を分析し、将来展望を述べている⁴⁾が、そのなかで、主な研究内容を、①事例研究（個別的事実・人物の紹介）、②事柄の時系列分析、③工学的分析を伴う史的研究に分類し、それぞれの論文数を分析している。研究内容を分析して、このような範疇に研究のほとんどが分類されるということであろう。また、土木史を示したいくつかの著書^{5),6),7),8),9),10)}も、特定の構造物や人物を主体に捉えられたものである。これらは、それぞれの研究目的に則したものであり、その研究目的や手法に対して、異論を唱えるものではないが、著者がめざすように、社会史の中での土木事業を考える場合には、過去の事実を個別に取り上げたり、特定の人物の活動に焦点を当てたり、あるいは、特定の構造物の変遷を見るという視点では不十分であると考え。歴史に内包された精神を瞬間の幻としてだけとらえては、次の時代への指針とはならない。民衆にとっての日本の土木史を検証するにあたっては、今までとは違った歴史認識で行う必要があると考える。

一般的に歴史に対する認識は、政治（権力）の歴史であり“みやこ”の文化の歴史である。今までの土木の歴史も、各政治的時代背景の中の土木の事例研究であった。古代から近世の土木総合史である「明治以前日本土木史」¹¹⁾は、貴重な史料であるが、歴史が皇国史観で記述されており⁴⁾、やや中央偏重のきらいがあるとの意見¹²⁾があり、必ずしも民衆の視点で俯瞰されたものではない。土木が『人間の営みの基盤整備』とする¹³⁾なら、社会史（民衆史）の中で土木事業を捉えるべきである。土木技術がシビルエンジニアリングであるならば、土木の歴史は土木技術の歴史にとどまらず、民衆の歴史、社会の歴史、文明の歴史であり、その中でとらえなければならない。武部は土木史の通史を見る場合も、単なる事績の羅列ではなく、土木事業がだれによってどのような意図で行われたかを明確にすることに必要性を説いている⁴⁾。

本章では文明の転換期を新たな視点で再確認し、それぞれの時代の土木事業がどのような目的で誰により企画され民衆にとってどのような意味があったかを検証し、文明史的、歴史的次元で

大転換期といわれる現在の土木事業のあるべき姿の指針にしたい。また、日本列島に社会が形成される過程で公共という意識が十分には醸成されなかったこと明らかにし、土木事業と公共性について考察する³⁾。

2. 2 日本土木史の時代区分

土木事業は、いつの時代もその時代の文明を支える基礎であり土台である。ゆえに、文明はそれぞれの時代の人々が生活する装置でありシステムと定義される。文明の変化の中で土木事業を検証しなければならない。本論文では、我が国における文明の転換期を次の三つの時期と考える。

最初の転換期は、①律令制度が導入され法による国の統治が始まった七世紀末、二番目の転換期は、②貨幣経済が浸透し支配者層と被支配者層の格差が拡大し、律令制の崩壊が始まり、封建制へ移行していった一三世紀末から一四世紀にかけての時期、最後の転換期は、③西欧文明を移入し富国強兵・殖産興業に爆走し始めた明治初期、とする。

この区分をもとにすると、著者の考える日本土木史の時代区分は以下に示すようなものとなる。

- | | | | |
|------------|--------------|---|---------------|
| (1) 転換期①以前 | (律令制以前の土木事業) | : | ～ 7世紀末 |
| (2) 転換期①～② | (律令制下の土木事業) | : | 7世紀末 ～ 13世紀末 |
| (3) 転換期②～③ | (封建制下の土木事業) | : | 14世紀 ～ 幕末 |
| (4) 転換期③以降 | (明治以降の土木事業) | : | 1868年(明治元年) ～ |

これらの時代区分をもとにして、以下では、社会史の中での土木事業について検討するが、それを概観した表を表2. 1に示す。

2. 3 律令制以前の社会と土木事業(～ 7世紀末)

日本列島に人が住み始めてから紀元前3世紀ごろまで、いわゆる縄文時代の人々は台地上や丘陵の裾野に大小の集落を形成していた。これらはほとんどが血縁関係を中心に20～30人程度の小集団で漁労の為の足場作り、船着き場づくり、住居の造成などを行っていた。この頃共同体による何らかの規制があったことは間違いないが、まだ身分差、階級差はなかった。やがて、集団の間の分業、職能の分化も現れ始め、広域の結合も進んだ。

紀元前4世紀ごろ長江下流域から朝鮮半島を經由して日本列島に伝来した水稲耕作は、弥生中期(紀元前1世紀～紀元1世紀)には水田が低湿地だけでなく谷間にも開かれ、人工の用水、排水溝を掘り水田の造成が行われた。このころから、倉庫の管理、農耕神事を主催かつ耕地の開発・造成のため集団的な労働を指導する共同体の首長の役割が徐々に増大していった。また、共同体間の分業、市場での交易も本格化し専門職能民も活動し始めた。こうして農耕文化が浸透していくと、農地や水利権さらには余剰生産物をめぐって争いが起こってきた。そのため、各地に周囲に

表2. 1 社会史の中での土木事業の年表

年代(世紀)	BC4	BC3	BC2	BC1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	
文明の転換期												《法による統治》																
本論文における時代区分	律令制以前											律令制下					封建制下				明治以降							
	(縄文時代～弥生時代)				(古墳時代)							律令国家成立 (奈良時代)		(平安時代)			(鎌倉時代)		(室町時代)		(江戸時代)		(明治元年-1945)		(戦後)			
社会体制と社会の状況	・血縁関係を中心とした20-30人程度の小集団 ・身分差, 階級差なし(縄文時代)		・稲作の伝来 ・環濠集落, 戦いの発生 ・豪族と庶民の格差の拡大		・首長の権力が拡大 ・ヤマト政権が成立 ・大陸との交易の活発化 ・職能集団の大陸からの移住 ・仏教伝来 ・日本列島内の交通・交易の活発化 ・交易の要衝に原始的な都市の発生							・天皇を中心とする律令国家の成立 ・律令国家の性格: 専制・古代帝国主義的, 人民に厳しい支配を貫く国家 ・田地を基礎とした土地制度・租税制度. 人民及び土地は全て国のもの, 全ての公民に口分田を付与. 公民には口分田から上がった収穫物からの税(租)、特産物等(調、庸)、土木工事等(雑徭)を課税 ・差別的身分制度 ・頻繁な遷都, 造寺 ・平民の逃亡, 浮浪の頻発 ・大寺院, 大社の金融商業分野に進出 ・宋からの新しい技術・学問・文化の流入			村落の形成: 社会と呼べる組織ではなかった		・海上交通による交易さかん ・港の津・泊・渡、内陸の市庭・寺社門前などに都市形成→新たな町村制		自治的な都市の形成 安定政権下での経済の発展		有力商人の台頭 城下町の発展		・強力な領主による支配 ・大商人の社会的地位の向上 ・権力者による大型土木事業への資本投下 ・交通・流通・市場の全国的体系の確立 ・大都市への人口流入		文明開化 国粋主義 国家と家族を中心とした体制: 個人は完全に欠落. 民衆的な「社会」は成立せず. 真の『公共』の概念は存在せず.		成長神話下, (プラス面) ・社会資本整備進展, ・生活利便性向上, ・所得向上, ・安全性向上. (マイナス面) ・地域格差拡大, ・無節操な資源採取による材料の使用と破壊 → ・自然再生の循環を破壊, ・生態系の持続不可能を予感	
社会基盤の整備状況	台地や丘陵のすそ野の集落		環濠集落用水, 排水溝, 水田		・首長間を結ぶ伝路の建設 ・巨大湖の治水事業							・宮都造営, 道路整備, 津・泊の整備, 河川, ため池, 橋, 用水路, 掘, 樋等の整備			都市の形成: 港湾・河川の土木事業		・領主による増収のための治水, 干拓 ・港町の整備		幕府、有力藩主の蓄財、財政再建 ・有力商人の蓄財のための大型土木事業 ・城と城下町の建設(平城) ・鉱山開発 ・新田開発 ・治水事業		・鉄道、河川、満州国経営 ・鉄道網の建設 ・多目的河川事業 ・道路網の整備 ・近代港湾整備 ・大規模土地開発		・大規模土地開発 ・新幹線網の整備 ・高速道路網の整備					
主要な建設事業と土木技術・土木技術者	漁労の足場, 船着き場, 住居		下戸(平民)		・河内湖治水 ・権威の象徴としての古墳 誉田山古墳、大仙陵古墳 → ・仏教の広まり, 寺院建立 飛鳥寺, 百済大寺, 四天王寺, 法隆寺 ・渡来人の土木技術							・宮都造営(645-794年に15の都) ・大仏建立 ・道路整備: 畿内七道 ・津・泊の整備 ・河川工事: 加茂川付替え、三国川分流 ・ため池: 満濃池、昆陽池、 ・橋: 宇治橋、山崎大橋、長柄大橋 ・用水路: 古林溝、久米田溝 ・造都・造寺が土木技術・建築技術の発展に寄与 ・僧(弘法大師)、私度僧の活躍(行基) ・職能集団の活動			港湾・河川 寺社人や律僧、禅僧が勧進や職能集団を組織		・治水・干拓 ・港町 兵庫、福泊、牛窓、尾道、赤間、門司、博多、今津 律僧による港湾・河川整備, 造寺		・河川改修 利根川 ・用水 箱根用水・見沼用水・ ・新田開発 干潟干拓: 備前児島湾、有明海 湖沼干拓: 下総椿海 ・上水道整備 大規模土木工事の実施を通じた土木技術の発展		・新橋-横浜間鉄道開通 ・大河津分水路 ・小樽築港 ・お雇い外国人技術者 ・技術官僚の活躍		・佐久間ダム ・東海道新幹線 ・東名高速道路					
土木事業と民衆とのかわり合い	自然に対する畏怖の念と、人間も自然の生態系の中で生かされているという日本人の自然観																											
	小集団の共同体で身分の格差なく実施		首長のもとでの下戸(平民)の集団労働		権力者の誇示・象徴としての、また首長の霊を神として祭るための大型土木工事 多くの平民(下戸)の古墳などの建設への動員 材料調達から役務提供まで民衆にとっては多大な負担と苦痛							土木事業の目的: 朝廷や首長の権威の誇示, 税収増 雑徭(首長に対する平民の奉仕): 正丁(成年男子21歳~60歳)が年間60日以内国内司のもとで国家的に必要とされた堤、道、橋、倉庫の造作などの公共的な労役に服役, すべて手弁当→民衆にとっては苦役でしかなかった。 租税(調や庸)の都への運搬も自己負担, 食料も自弁, 帰路に餓死するもの多数 民衆の生活の苦しさ: 貧窮問答歌			巨大土木事業: 民衆のためのものではなく, 領主、商人のためのもの 飢饉や火山噴火など自然災害の追い打ちが、一揆・打ち壊しに拍車 新田開発→新田百姓不足→国土の荒廃→年貢の増加 徳川幕府滅亡の一要因		土木事業の目的: 常に国家の益: ・富国強兵 ・満州国経営の先駆		「個人を尊重しつつ正義のもとでの公共」という考え方芽生えず. 公共工事悪玉論									

高い柵や深い濠をめぐる環濠集落が誕生し、リーダーである首長と下戸あるいは平民とよばれる一般民衆の格差が拡大していった。

列島全域に首長制が展開していく中で、首長は盛んに古墳を築造した。初期の古墳は、各地域の首長がその権力の誇示と亡き首長の霊を神として祭るためであったが、ヤマト政権の統一が進むと地方の大古墳は廃れていった。変わって、近畿の大首長の本拠が大阪平野に移り、ここに巨大前方後円墳（菅田山古墳、大仙陵古墳など）が築かれた。これは、近畿、瀬戸内海、北九州の統合記念碑の意味と中国大陸および朝鮮半島との交流の上で、政治、軍事、外交権力を強大にしヤマト王が大陸からの富を独占する目的であった。

首長間の戦乱を経てヤマト政権が確立すると、政権は大陸との外交上、権威の象徴として巨大前方後円墳を多く築造した。これには当時朝鮮半島からの渡来人の進んだ土木技術の成果であるが、動員された平民（下戸）の負担は多大なものであった。5世紀に築造された大仙陵古墳（現、仁徳天皇陵）は従属的な小型の古墳である陪冢の区域を含めるとその墓域は80ヘクタールにも及び、最盛期には1日当り2000人が動員され、完成には延べ680万人の人員と15年8ヶ月の期間を要したとされている¹⁴⁾。写真2. 1に大仙陵古墳を示す¹⁵⁾。写真からもそのスケールから築造にかかわった民衆の労苦がうかがい知れる。

古墳造営の土木工事の基礎をなす土掘りと盛土の技術は弥生時代の農耕社会を築くために生まれた鍬や鋤などの鉄製の農具を用いて共同労働で行われた。また、墳丘を築造するための技術として、盛土部分を堅固にするため砂質土や粘性土を交互につき固める版築工法で行われたものが多い。

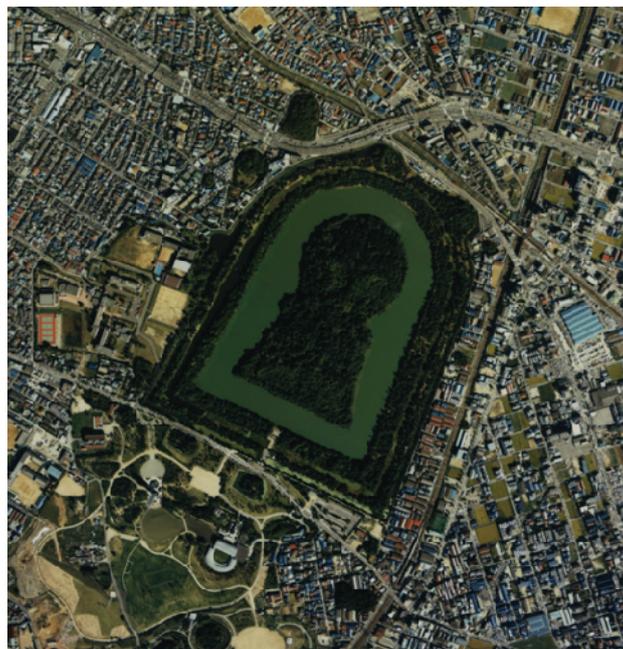


写真2. 1 日本最大の古墳：大仙陵古墳（写真は文献15）より）
（墳長486m、前方部は幅305m、高さ33m、後円部は直径245m、高さ35m）

文献16)によれば、日本全国に残る墳長135mを超える巨大古墳は100以上にのぼる。それらを建設された県別に図2. 1に示す。また、巨大古墳の建設地点およびそれらの規模を、巻末の付録1に示す。大阪、奈良には、それぞれ27、34もの大型古墳が集中しており、この近辺に巨大な勢力が存在したことの証と考えられる。また図2. 2に大型古墳の規模と数を古墳時代各時期に分けて示す。古墳時代の前期（3世紀後半から4世紀前半）および中期（4世紀後半から5世紀後半）は、巨大な古墳が多く作られ、中期は、なおかつその規模が特に大きなものが相対的に多く、権力の巨大化が顕著であったことに対応すると考えられる。また、後期(6世紀~7世紀半ば)は、古墳が地方へ波及し、当時の中央政権近傍では数が徐々に減っていったため、巨大古墳の数は減少している。

古墳時代の後期以降は、広域を支配する国、政権、領主に対して、ある特定の小さな地方、地域を実効支配しているもの、いわゆる豪族（首長）は、仏教の広まりとともに権力の象徴として古墳に代わり大寺院を建てていった。蘇我氏による飛鳥寺（法興寺）、舒明天皇創建と伝えられる百濟大寺、厩戸王（聖徳太子）創建といわれる四天王寺、法隆寺（斑鳩寺）などである¹⁴⁾。もちろん、民衆は材料の調達から役務に至るまで様々な負担を強いられた。このように、律令制以前の大型土木事業は権力者の権威を顕現するために行われ、逆に、民衆には困窮しか与えなかった。

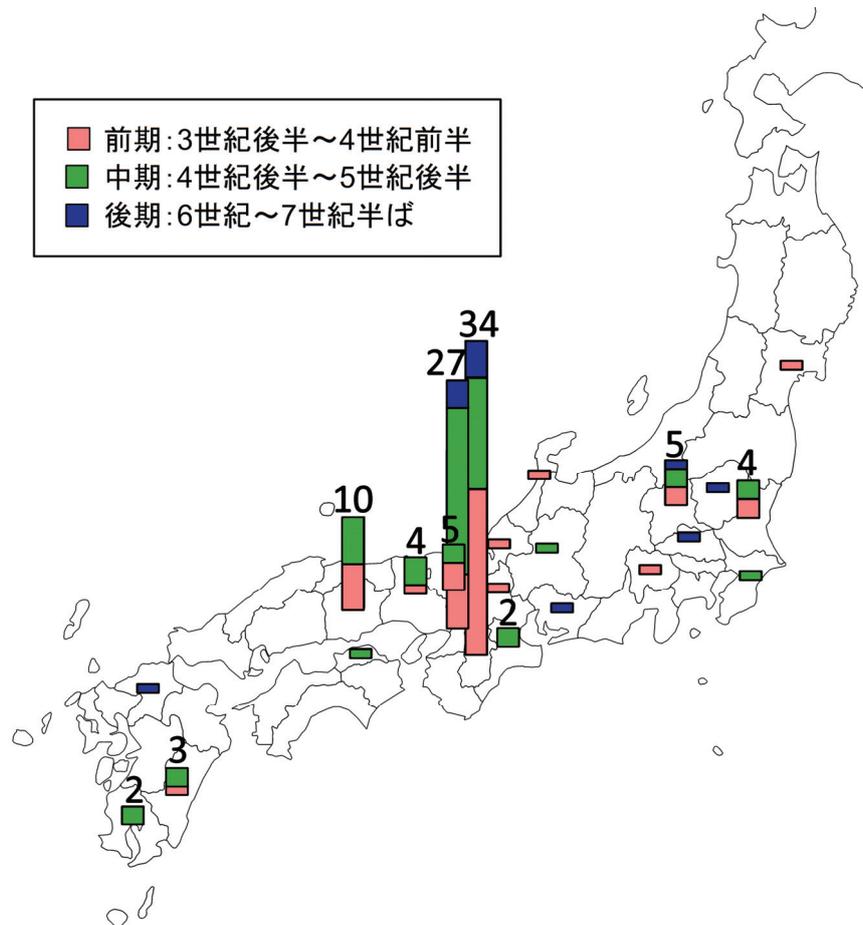


図2. 1 日本の巨大古墳の分布

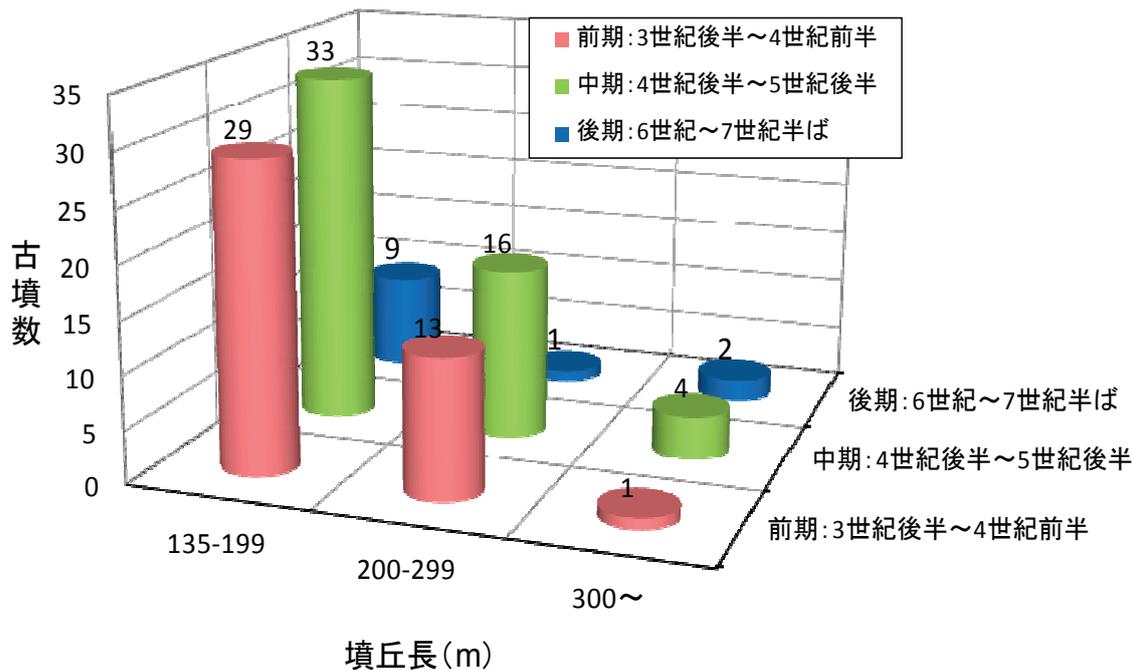


図2. 2 それぞれの時期における古墳の規模と数の変遷

2. 4 律令制下の土木事業（7世紀末～13世紀末）

（1）律令国家の性格

日本国の律令制は、家父長制原理を基本とする儒教的な農本主義であり、すなわち、田地を基礎とした土地制度・租税制度である。律令制下では、人民及び土地は全て国のものとなり、全ての公民に口分田が与えられた。公民は口分田から上がった収穫物からの税（租）、特産物など（調、庸）、土木工事など（雑徭）が課せられた。その負担は極めて重く逃亡するものや餓死するものも多かった。この制度の中で首長に対する平民の奉仕である雑徭は、正丁（成年男子21歳～60歳）が年間60日以内国司のもとで国家的に必要とされた堤、道、橋、倉庫の造作などの公共的な労役に服することとなっている。この労役はすべて手弁当で、朝廷や首長の税収増を目的とした土木事業であり、民衆にとっては苦役でしかなかった。

当時の水田は土地制度・租税制度を執行するには絶対的に量が不足していた。このため政府は722年（養老6年）良田百万町歩開墾令、723年三世一身法（灌漑施設を新設して墾田を行った場合は、三世＜本人・子・孫＞までの所有を許し、既設の灌漑施設を利用して墾田を行った場合は、開墾者本人一世の所有を許すというもの）を発し私的な労働力による開墾を進めようとした。

一方、国家は、693年平民と奴隷を衣の色で区別する身分的差別を強制する法令を発し、初めて国制により身分が差別化された。さらに東北、南九州を征服する侵略軍を進めるなど、律令国家の性格は専制・古代帝国主義的で人民に厳しい支配を貫く国家であった。

(2) 律令制下の社会及び土木事業と背景

民衆に厳しい体制の下、社会の中には租税を納められず奴隷に身を落したり、逃亡する人々が現れ始めた。この国家は造都・造寺を頻繁に行い、さらに人民を苦しめた。蘇我入鹿が中大兄皇子に討たれた乙巳（いっし）の変後、孝徳天皇が難波へ遷都した以後、794年桓武天皇による平安京遷都まで14回に及ぶ遷都が繰り返された。これらの遷都の様子を表2. 2、図2. 3（文献5）の図を参考に作図）に示す。

表2. 2 宮都の変遷（645年以降）

名称	移動・遷都時の天皇	所在期間
① 難波長柄豊碕宮	・孝徳天皇	645～655年
② 飛鳥板蓋宮	・斉明天皇	655年
③ 飛鳥川原宮		655～656年
④ 後飛鳥岡本宮		656～667年
⑤ 近江大津宮		667～672年
⑥ 飛鳥浄御原宮	・天武天皇	672～694年
⑦ 藤原京	・持統天皇	694～710年
⑧ 平城京	・元明天皇	710～784年 (740～745年の間、一時放棄)
⑨ 恭仁京	・聖武天皇	740～744年
⑩ 難波宮		744年
⑪ 紫香楽宮		744～745年
⑫ 平城京		745～784年
⑬ 長岡京	・桓武天皇	784～794年
⑭ 平安京		794年 遷都

律令制国家が確立して来ると貨幣経済が浸透し、支配層と一般民衆の貧富の差が拡大した。人々は、自然に対して理解不能な事象には、恐れ、畏怖、尊崇の念を抱いていた。特に、天変地異が起きるたびに怨霊に対する恐怖は、天皇や貴族に強く襲いかかった。この時期の遷都や造寺は天皇、貴族の怨霊に対する恐怖や権力誇示が主な要因¹⁷⁾であり、限りなく私的な理由であった。

藤原京より以前は、新たな天皇が即位するたびに遷都が行われていたが、藤原京以後はその慣例はなくなった。遷都の理由は様々であるが、天皇の権威を誇示するためであったり、天皇や貴族の怨霊に対する恐怖が原因であった。

一方、政府の厳しい禁圧令にも関わらず平民の逃亡・浮浪は後を絶たず、私度僧になるものも数多く現れ始めた。私度僧とは律令制で官の許可なく出家した僧をいう。こうした私度僧に支えられた行基のような乞食僧の活動が活発になってくる。これに対し政府は、当初行基たちの行動に弾圧をくわえるが、疫病、飢饉、戦乱が続く造都・造寺の労役、資金は極めて苦しい状況となり、行基たちのような自発的な労働力や各地の有力者の財に頼らざるを得なくなってきた。行基は、宇治川に宇治橋を架けた道昭の弟子であり、庶民のため農業用ため池として昆陽池を築造した高僧である。行基は、満濃池を築造した弘法大師とともに、仏教の教えである利他行を実践し、民衆の為の生活を守るという土木本来のテーマを持った日本で最初の土木技術者とされている。

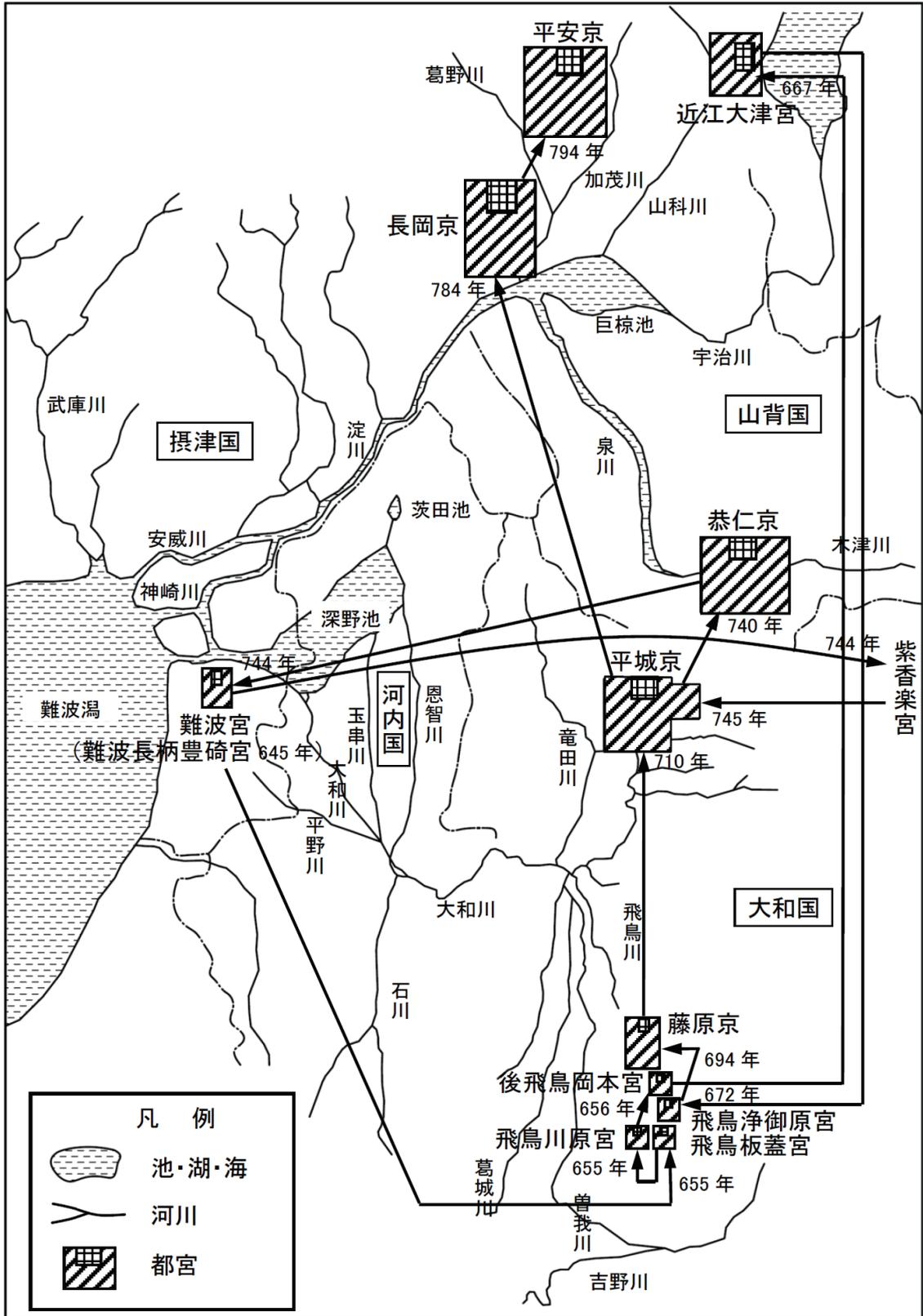


図 2. 3 古代の都宮の変遷

注記 1)参照

注記 1) 遷都が繰り返された理由として、天皇を支援する豪族間の力関係、父子別居説、易学上の方位などがあげられることが多いが、土木的な観点から、水陸交通の便や洪水からの避難等について試行を繰り返した結果との推察もある⁵⁾。

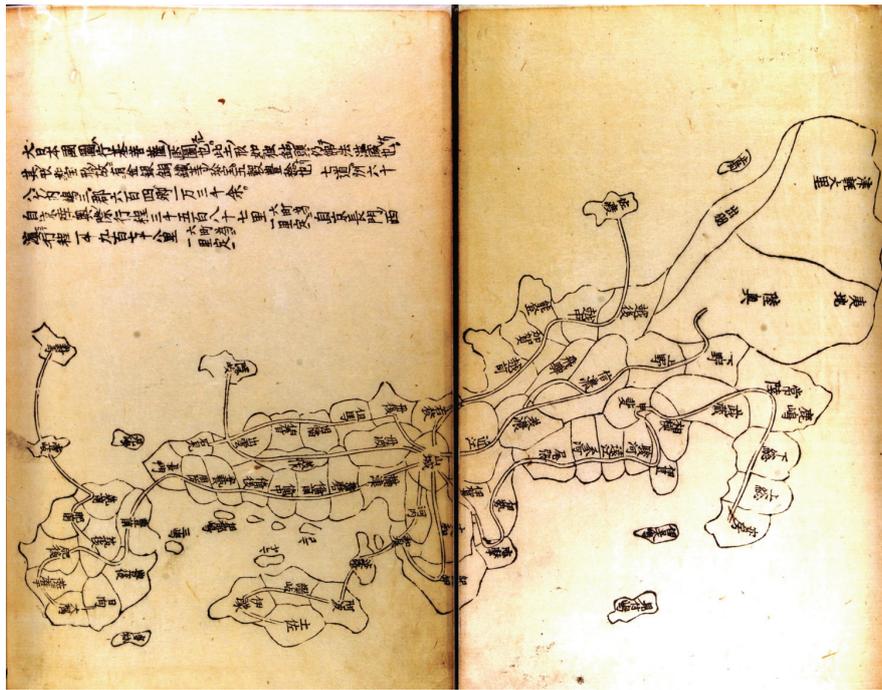


図2. 4 行基図¹⁷⁾

また、行基は日本ではじめて測量図（行基図）を作った人物との伝説がある⁵⁾。図2. 4に行基図¹⁸⁾を示す。畿内中心に律令制の街道を諸方へ線引きし、そこへ丸みをおびた国々をつないでいくかたちの日本図であるが、行基が作ったという伝承はあるものの根拠は明らかではない¹⁹⁾。

しかし、行基は弾圧が強まる中、当時進行中の恭仁京造営の為に民衆を動員し橋を架けている。恭仁京は聖武天皇の気まぐれに近い四回にわたる遷都の最初の都である。その後745年（天平17年）行基は乞食層から一躍大僧正に任ぜられ、資金と労役の調達を行い大仏造営を進めた。奈良の大仏は完成までに約14年を要し、延べ260万人が動員された²⁰⁾とされ、非常に多くの民衆の労役の上に成り立った事業であったことがわかる。これらのことは、本当に土木の原点である民衆の生活を守る事業であったかどうか疑問である。山上憶良の貧窮問答歌（図2. 5¹⁴⁾）にあるようにこの当時の民衆の生活が大変厳しいものであったことがわかる。この時期の仏教は、人々の救済ではなく鎮護国家のための宗教であった。民衆を苦しめた数多くの造都事業・造寺事業が、皮肉にも土木技術、建築技術を大きく進展させたことは間違いのない事実である。この当時の土木事業としては、後ろで述べる道路のほかに、橋、堤（河川）、池などがあり、それらの代表的な事例を表2. 3に、その分布を図2. 6に示す。また代表的な建築物として、法隆寺夢殿・伝法堂、東大寺法華堂・転害門、唐招提寺講堂・金堂、正倉院宝庫など数多くのものが挙げられる¹⁴⁾。

10世紀には受領として国の業務・徴税を請け負い、力を蓄える地域の実力者が現れ、官司組織の解体が始まった。そうした中、官司のもとに組織されていた様々な職能民も独自の職能集団となり社会の中で自らの職能活動を始めた。

一方、東大寺、延暦寺などの大寺院、春日社、日枝神社などの大社は摂関家との結びつきを強

め、金融、商業の機能を握り、自らの勢力拡大のため、諸国に新しい免田を開発し、交易のために港湾などの大型土木事業を行った²¹⁾。さらに、武装した僧侶、農民を組織し始め、世俗化が進んでいった。

農民の苦しみー貧窮問答歌^①

人竝（なみ）に 吾（われ）も作る^②を 綿も無き 布肩衣（ぬのかたぎぬ）^③の 海松（みる）^④の如（ごと） わわけさがれる^⑤ 檻樓（かかふ）^⑥のみ 肩に打ち懸け 伏廬（ふせいお）^⑦の 曲廬（まげいお）^⑧の内に 直土（ひたつち）^⑨に 藁（わら）解き敷きて 父母は 枕の方に 妻子（めこ）どもは 足の方に 囲み居て 憂え吟（さまよ）^⑩ひ 竈（かまど）には 火気（ほけ）ふき立てず 甑（こしき）には 蜘蛛の巣懸（すか）きて 飯炊（いいかし）く 事も忘れて 鶺鴒（ぬえどり）の^⑪ 呻吟ひ^⑫居るに いとのきて 短き物を 端截（はしき）ると 云へるが如く 楚（しもと）^⑬取る 五十戸良（さとおさ）^⑭が声は 寝屋処（ねやど）まで 来立ち呼ばひぬ……（『万葉集』、原万葉がな）

注釈

①山上憶良が筑前守であった731（天平3）年のころの作という。貧者と窮者の問答の形をとり、ここは貧者の問いに窮者が答えた後半の部分。②耕作する。③麻布でつくったそまつな袖なし。④海藻の一種。⑤破れてぶらさがる。⑥ぼろ。⑦屋根が低くつぶれた家。⑧ゆがみかたむいた家。⑨地面にじかに。⑩嘆きうめく。⑪「のどよぶ」にかかる枕詞。⑫細い力ない声を出す。⑬むち。⑭里長。

図2. 5 山上憶良の貧窮問答歌¹⁴⁾

13世紀になると銭貨が流通し、人とモノの交流が活発になり、宋から新しい技術・学問・文化が流入し、文明が社会に浸透してきた。13世紀後半になると社会は、銭貨に対する欲望が蔓延した。

このころ、交易の場である市場に家を持って定住する人が増え、各地で『都市の形成』が見られた。活発な交易の中、熊野神人などの寺社人や律僧が海上交通に深く関与し、関を立てて勧進を行い、港湾や河川交通の為に土木事業を行った。勧進とは社寺や橋梁など造営や修復のために衆庶広く資材を集めることを目的とする募資活動である。こうした律僧の中には逃亡した平民もおり、勧進など特権を得て、私度僧として事業に参画し富を蓄積していた。また、寺社も特権を利用して、権力の拡大と財の確保を進めて行った。

13世紀後半～14世紀初め、北東アジア、東南アジア、中国、朝鮮半島との貿易は主として律僧・禅僧が行った。律僧・禅僧は関銭の徴収、棟別銭を徴収する勧進といった権力的、組織的な勧進

で集めた資金で、鍛冶、番匠、鋳物師、石工、非人などの職能民集団を組織し上記の様な大型土木建築事業を行った。

13世紀後半には、荘園・公領の諸単位は、イエの集団としての安定した村落が形成されつつあったがまだ村落の中に掟などのルールはなく自立した存在ではなく“社会”と呼べる組織ではなかった。

律令国家の交通体系は、それ以前の古墳時代までの水上交通から陸上交通に転換され、いわゆる、畿内七道（東海、東山、北陸、山陰、山陽、南海、西海）の舗装された大道路が、できるかぎり直線的に造られた。官道の建設では、切土、盛土や橋の建設といった土木工事が行われた。

表 2. 3 律令制時代の代表的な土木工事

	工事	所在	和年	西暦	備考	
河川	三國川の分流	大阪府摂津市一津屋で淀川から分岐し、東淀川区の相川で安威川と淀川区で猪名川と合流した後、分流し大阪湾へと流れ込む	延暦4年	785年	摂津職長官和気清麻呂	神崎川と淀川が運河で結ばれた。
	三國川の開削	(摂津国神下・梓江・鯉生野)			摂津職長官和気清麻呂	
	大和川の付替え工事	遺跡：天王寺公園茶臼山の河床地が西端	延暦7年	788年	摂津職長官和気清麻呂	失敗(今の天王寺公園の南側に通して(北側説あり)大阪湾へ流そうと計画)
	加茂川の付替え工事	大阪府			摂津職長官和気清麻呂	
	賀茂川と桂川修築				防鴨河使、防葛野河使に任命	
橋	宇治橋	京都府宇治市	大化2年	646年	道登(断碑に記載)	
	加世山東河橋(木津川)	京都府木津川市(恭仁京-大和)	天平13年	741年	畿内及び諸国の優婆塞	
	山崎大橋	京都府大山崎町-八幡市橋本間	神亀2年	725年	行基	
	長柄大橋					
	堀江橋					
	泉橋	京都府木津川市(恭仁京)	貞観18年	876年		
	瀬田大橋		貞観4年	862年		
	呉橋(宮中の南庭)		推古20年	612年	志耆麻呂	
	丹比柴籬宮跡出土の橋	大阪府松原市			6世紀中頃か後半	
	神戸市吉田南遺跡出土の縦桁式の橋	兵庫県神戸市西区玉津町吉田	奈良時代			
	大和郡山市稗田町で発掘野の橋	奈良県大和郡山市稗田町			7世紀	
	浜名橋	静岡県湖西市橋本	元慶8年	884年		
	四条大橋(京都)	京都市				
五条大橋(京都)	京都市					
池	万濃池		大宝年間	701~704年	讃岐の国守道守朝臣	
	万濃池の大修復	香川県仲多度郡満濃町	弘仁12年	821年	空海	
	混陽池(摂津国)	大阪府豊中市蛍池西町			731年	
	狭山池(河内国)	大阪府南河内郡狭山町			6世紀末~7世紀	
	茨城池(和泉国)	大阪府堺市家原寺町	慶雲元	704年	行基	
	久米田池(和泉国)	大阪府岸和田市池尻町			738年	
	物部田池(和泉国)	大阪府岸和田市(岡山町より)				行基
溝(水路)	久米田池溝	大阪府岸和田市池尻町				物部田池と小さな池を集めて、現在の久米田池としたと伝えられている
	物部田池溝	大阪府岸和田市(和泉国泉南郡)				
	摂津国の混陽	兵庫県伊丹市寺本五丁				行基
	長江	大阪府大阪市南区(摂津国西城郡)				行基
樋(水門及び管)	河内国の古林	大阪府枚方市(河内国茨田郡古林里)				行基
	高瀬堤樋	大阪市東淀川区(河内国茨田郡高瀬里)				行基
	韓室堤樋	(河内国茨田郡韓室里)				行基
堀	茨田堤樋	(河内国茨田郡茨田里)				行基
	比売嶋(ひめじま)堀川	大阪府大阪市				行基
	白鷺嶋堀川	大阪府大阪市				行基
	吹田堀川	大阪府大阪市				行基
	大庭堀川	大阪府大阪市(河内国)				行基
						失敗

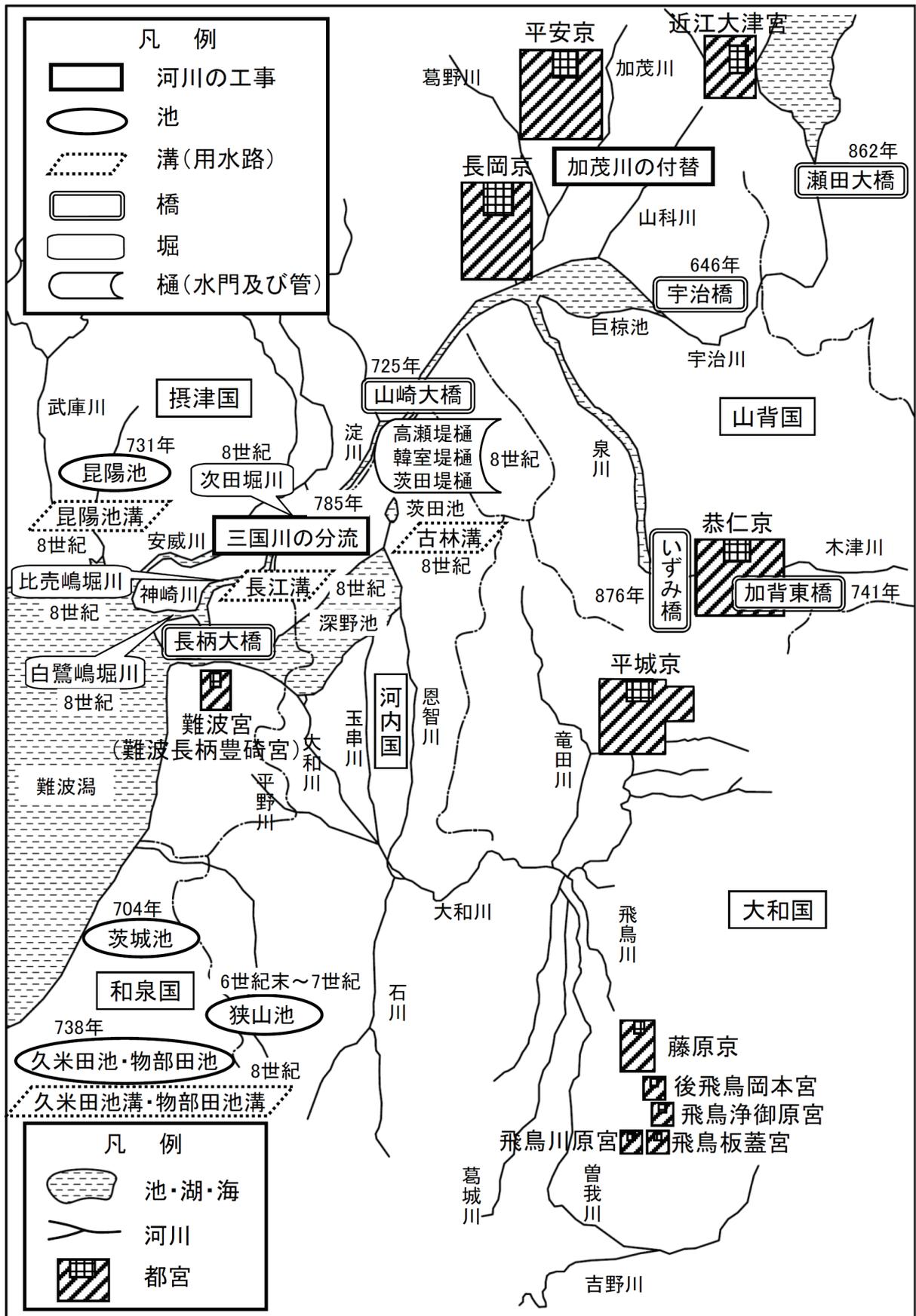


図2. 6 律令制時代の主な土木工事

注記2)参照



図 2. 7 古代の官道の様子⁵⁾

注記 3) 参照



図 2. 8 古代の津・泊の様子⁵⁾

注記 4) 参照

図2. 7に古代の官道の様子³⁾を示す。この道路は、西は朝鮮半島の新羅との対抗、東は東北への侵略の目的を持ち極めて軍事的・政治的な道路であった。また、この大道路は、調と庸を都へ運ぶ道として国家や貴族、寺社にとっては税金を上げる重要な社会基盤整備事業（インフラ事業）であった。反面、民衆にとっては自己負担で調や庸を都まで運ばねばならず、過酷な負担であった。特に、都から遠い地方の人々にとっては、食料も自弁であり帰路に餓死するものも多数いた。

8世紀になると商人による交易が盛んになり海上交通が使われるようになった。8世紀後半には官道は荒廃し始め交通体系も河海・湖がクローズアップされてきた。水運では、沿岸の良好な停泊地（津・泊）が重要で、各地に数多くの津・泊が設けられた。当時の主な津・泊を図2. 8⁵⁾に示す。津・泊はいずれも船が停泊するところという意味であり、いずれもほぼ同義である。津・泊の建設では、大和田の泊まりのように規模の大きな浚渫、築島、防波堤の工事も行われた⁵⁾。また、摂関家との結びつきを強め、金融、商業の機能を持った大寺院、大神社は自らの勢力拡大のため、諸国に新しい免田を開発し、交易の為に港を整備した。天皇家、貴族、大寺社、地方の豪族はこうした事業を通じ、富を蓄えて行ったが、民衆は重い課税に苦しめられた。

注記2) 宇治橋：(古墳時代の) 646年に架橋された日本最古の橋といわれる。桁橋、橋長約153m。

京都府宇治市の宇治川に架橋。

昆陽池：古墳時代の731年、行基の指導により洪水対策と農業用のため池として作られた。

当時は周囲が4kmあったという。兵庫県伊丹市。

三国川の分流：神崎川の別称。785年の開削工事によって淀川と連絡し、以後淀川水運の幹線となり、江口、吹田、神崎、河尻の河港が発達した。大阪府北部から兵庫県東南部を通る淀川水系の一級河川。

注記3) 官道のうち中央と地方を結ぶ駅路の幅は最小6m、最大30m以上。平野部においては直線形状が数10kmに及ぶこともあった。東京都国分寺市で発掘された駅路は、川床であった砂礫層の上に粗朶を敷き、その上に礫を敷き詰め、さらに赤土と黒土を交互に盛土し、裾には木杭で固定した丸太を並べて崩壊を防ぐ構造であった²²⁾。

注記4) 津・泊は大和を中心に西方、東方、北方に通じる幹線軸が形成されていた。当時は室と呼ばれる入江や河口を選んで泊とした。特に瀬戸内海にはこうした室が数多くあり、利用された。大和田泊では規模の大きな工事も行われたが、なかには魚住泊のように砂浜に人工的に設けた泊もあった⁵⁾。

2. 5 封建制下の土木事業（14世紀～幕末）

（1）封建制下の社会

14世紀にはいと、ますます貨幣経済は社会に浸透し、律令制が崩壊し中央集権国家から地方分権へ移行していった。地方の豪族、藩主（江戸時代）は、領土の拡大、租税アップのための河川の統治、干拓などの土木事業を行った。

一方、海上交通による交易も盛んで、特に、西大寺流の律僧は、北条氏の保護を得て海上交通に深くかかわり、関を立て、勸進を行い港湾や河川の土木事業や造寺を推進した。たとえば、兵庫、福泊、牛窓、尾道、竈戸、赤間、門司、博多、今津、神崎などの港町である。これらを図2.9に示す。これらの多くは、古代の津・泊が継承発展したものである。神崎、兵庫は、行基によって築かれた神戸・播磨の五泊のうち、それぞれ河尻泊、大和田泊、が発展したもの、牛窓、尾道（長井の浦）、竈戸（熊毛）、門司（文字）、博多（那津）も同様に古代の泊まりが発展したものである。また、中国大陸との交易も盛んで、特に五山僧（禅僧）が活躍した。

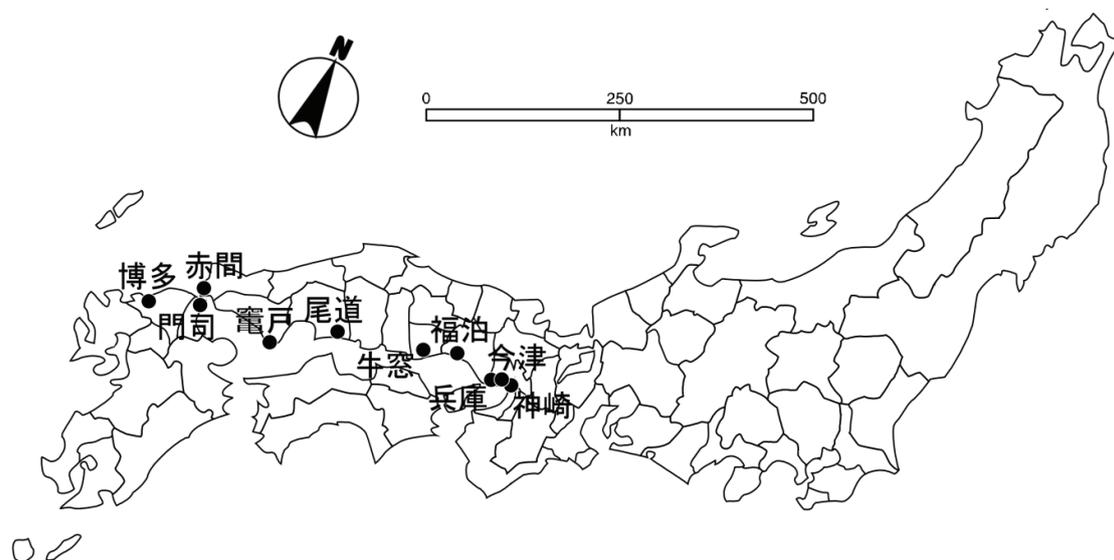


図2.9 14世紀に律僧により開港された主な港町

15世紀には各地の津、泊、渡、内陸の市庭、寺社の門前などに都市が形成された。村落も名主を中心に村を規制するおきてを定め自立を図り年貢、公事などの負担を村が請け負う動きが各地にみられた。こうして、日本の中世における荘園と公領を土台とした重層的土地支配構造、すなわち荘園公領制に代わる新たな村町制が姿を現し始めた。

16世紀にはいり戦乱の中、全国に自治的な町・村が形成されていった。自治的な村落は、都市・町と不可分な有機的関係を保ち、文化も庶民のものとなり始めた。

さらに、17世紀前半、武家統一国家として確立した日本は、平和で安定した社会となり新たな経済発展に動き出した。城下町としての都市と各地の町の急速な発達には消費需要の拡大を引き起

こし、新たな田畑の開発が必要になった。こうした中、大きな地域を強力に一円支配する領主（大名）が固定し、石高制が確立すると、有力大名は年貢の増収を図るため、発達した用土木技術を用いて、巨大河川流域の開発を進め、大量の新田を開発した。開発の成功は、知行高が石高制で統一され、大阪の堂島に米市場が成立し、米手形が盛んに流通し始め、有利な商品である米を生産、獲得するため、商人たちが巨大な資本を新田開発に投下した事も大きい。

このような政権の安定のもと、17世紀後半から18世紀にかけて経済が著しく発展し、職能の分化も急激に進展した。経済が急速に資本主義化する中で、大商人の社会的地位が向上し、多くの土木事業への資本の投下が行われた。

18世紀にはいと、交通、流通、市場の全国的な体系が確立し多様な人々の動きが活発になってきた。このような状況の下、18世紀後半からは、ますます商工業が発展し大都市には多くの人々が流入してきた。こうした膨張した都市、あるいは都市の民衆は食糧を購入して贖う人々で、1732年の享保の飢饉、1783年の浅間山大噴火、1786年天明の大飢饉は決定的な打撃を与えた。その矛先が都市の米商人、大富豪に向き、激しい“打ちこわし”が至る所で発生した。はからずも、貨幣経済の発展が江戸幕府の支配を根底から揺るがし始めた。

（2）封建制下の土木事業と背景

戦国時代後半から江戸時代初期に行われた新田開発などの大土木事業も、強力領主や富豪商人によって彼らの蓄財を目的として実行された。特に、戦国時代からの約100年間は、大土木事業が数多く行われ、土木技術が著しく発達した時期であった。主として、城および城下町の建設、鉱山開発、治水事業と新田開発が活発に行われた²³⁾。

15～16世紀の城は、海、川、道路を監視できる山の上や岬の先端などに築城されたいわゆる山城であったが、政権が安定してくると平城へ移ってきた。近世の交通は、“物は水上”、人は陸“が基本で城下町を建設するには、海に近く川に接している立地が選ばれた。また、城下町内に掘割も多く造られた。しかし、場所的には地下水の質が悪くどうしても上水道の施設が必要となり、各地で著名な上水道が建設された。図2. 10に17～18世紀に上水道をもった主な城下町を示す²⁴⁾。

このころ、先に述べたように、有力大名により、大河川流域の治水工事と新田開発が行われた。巨大河川下流の沖積層地域の安定は、ほとんどこの時期に実施された。大規模な用水事業としては、箱根用水、見沼代用水などが挙げられる¹⁴⁾。封建時代の用水路の代表的事例を律令時代のものと合わせて図2. 11⁵⁾に示す。多くの治水事業が、戦国から江戸時代初期に行われていることがわかる。その一例として、全長60kmにもおよぶ見沼代用水の建設地点を図2. 12に示す。灌漑用の沼であった見沼溜井を干拓し神殿とするため、水源確保のためにわずか半年で建設された用水²⁶⁾である。この干拓により新たに約1200haの新田が拓かれた²⁶⁾。写真2. 2、写真2. 3に現在も残る見沼代用水の様子を示す。

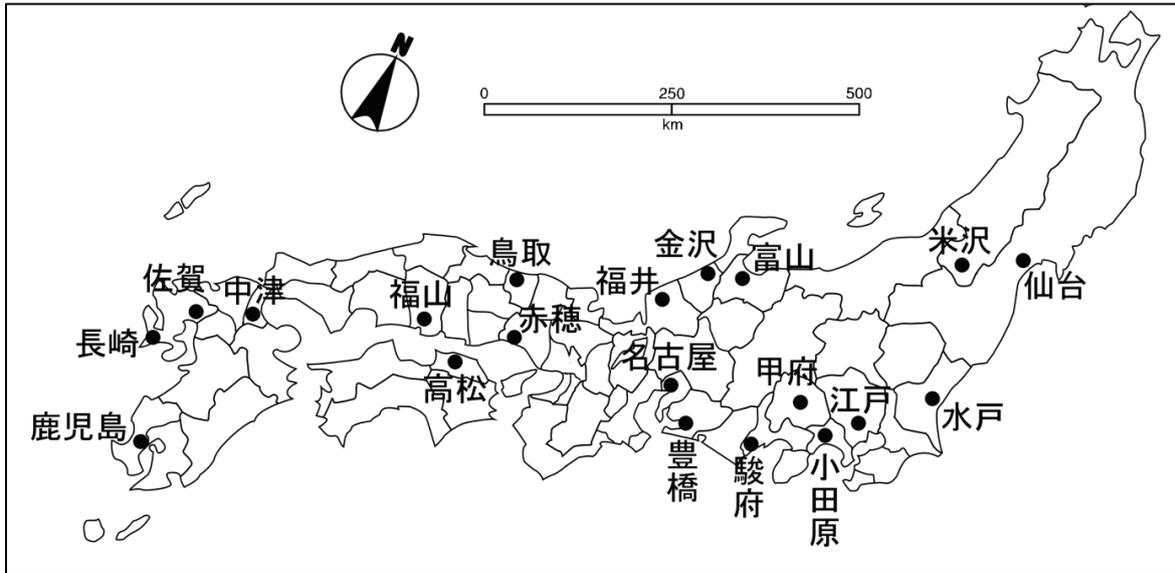


図2. 10 17~18世紀に上水道を持った主な城下町（参考文献24）の図を参考に作図

注記5)参照

また、干潟干拓の新田開発としては、備前児島湾、有明海が、湖沼干拓としては下総椿海（つばきのうみ）が代表的な事例である¹⁴⁾。特に、椿海は諏訪湖の3倍の大きさがあったとされ、それはおよそ5km×10kmの広さにもなり、その規模の大きさがうかがわれる（図2. 13）¹⁴⁾。このようにして、新田開発により江戸時代はじめは164万町歩であったものが、18世紀はじめには297万町歩へと激増（1町歩は約1ヘクタール）したのである¹⁴⁾。

しかし、急速な新田開発は、新田百姓（労働力）の不足と国土の荒廃、災害の続出という矛盾も惹起した。新田開発は、開発してから一定期間年貢を納めなくても良いなど農民にとって魅力があり、彼らは、新田開発に熱中しそれまでの田畑の管理を怠った。そのため、多くの荒廃田を生んだ。一方で、大規模開発により、草木を根こそぎ掘り取ってしまうため洪水などの災害が続出した。特に、1670年前後は、全国で洪水が頻発し多くの被害が発生した。このため幕府は、開発万能主義の政策を反省し「諸国山川掟」という法令を発した。これは、1. 草木の根まで掘り起こす事を禁ずる。2. 樹木のない所は早速植樹する。3. 焼き畑を禁止する。としたかなり徹底したものであった。

このように、封建制下では、幕府または強力領主が財政の立て直しや蓄財の目的で、あるいは富豪商人がさらに力をつけるために、新田開発や治水事業、鉱山開発などの巨大土木事業を行ったが、民衆にとっては結果的に年貢の増加がもたらされただけであった。また、貨幣経済の一段

注記5) 江戸時代に入って各地で上水道が整備された。代表的なものに、江戸の人口増加などへの対処として

つくられた神田上水と玉川上水がある。玉川上水は多摩（玉）川の羽村地点から四谷大木戸まで開水路（総延長約43km、幅10mあまり、一部で石樋）で水を引き、途中の水利の悪い武蔵野台地の畑地の灌漑にも使われた²⁵⁾。

の浸透は民衆の貧富の格差を助長する基盤となった。その不満が“一揆”、“打ちこわし”などになって現れ、幕府の滅亡の一つの要因になっていく²⁷⁾。

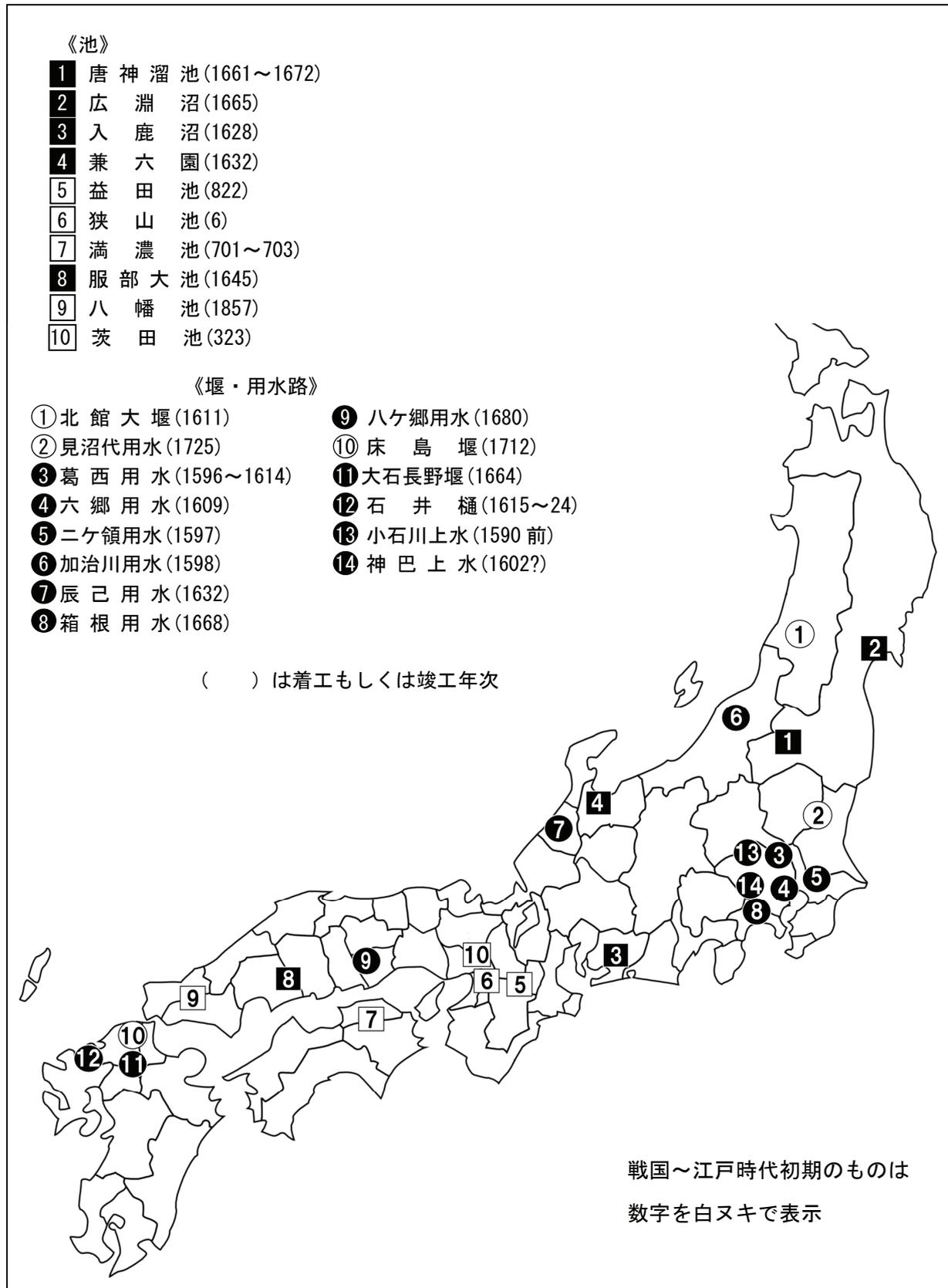


図2. 1.1 ため池・用水路の代表的事例



図2. 1 2 見沼代用水路の位置 (Google Earth を利用) 注記 6)参照



写真2. 2 現在の見沼通船堀西縁一の関

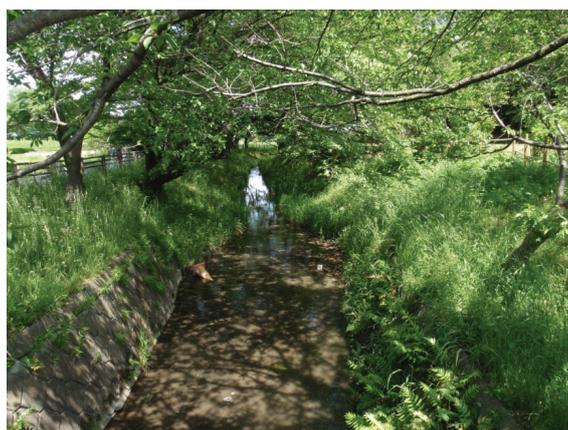
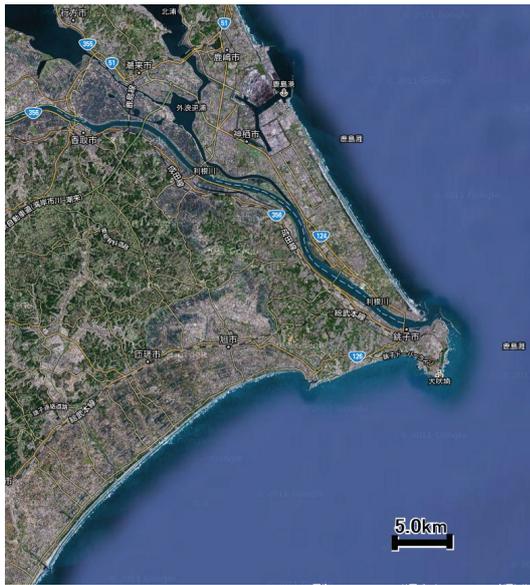


写真2. 3 現在の見沼通船堀西縁

注記 6) 特に見沼代用水の特徴的な土木手法として、水路や道路を横断するために伏越が多く設けられたこと、また、河川との交点では通船のための懸渡井がつけられたことが挙げられる。懸渡井とは、木製水道橋のことで、木で造った樋を支柱で支え、交差する川を跨いで水を送る仕組みである²⁶⁾。



(Google マップを利用)



国絵図に描かれた樁海 つばきのうみ 下総の国絵図には「樁海」と湖が描かれている。広さは、諏訪湖の3倍はあったと考えられる。江戸町人が請負人になり、幕府も資金援助をした結果、1673(延宝元)年に工事は完了した。18カ村の新田村落が生まれた。(東京 国立公文書館蔵)

図2. 13 樁海の大きさと現在の地形の比較 (右の図は文献14)から引用)

2. 6 明治以降の土木事業 (明治維新～)

(1) 維新政府の性格と社会

明治維新は、天皇を頂点とする古代天皇制の体制への復古と攘夷を目的に討幕がなされ新しい体制に生まれ変わった。しかしこの政府は、“開国と西欧文化を早期に吸収して近代化”を図ることを目標とし、維新の旗印である“攘夷と王政復古”との矛盾を抱えての出発となった。

西欧式近代化を急ぐ政府は、1871年(明治4年)に断髪・脱刀令を発令し、翌年には官司の大礼服・礼服の制が敷かれ、民衆の中に文明開化の波が急速に浸透していった。一方、1890年(明治23年)に発布された教育勅語では極めて国粹主義的な方向が示された。

教育勅語では、父母に対する孝養、兄弟姉妹の親しみ、夫婦の愛情、知能の啓発、国法の順守、国のために戦うことが明記されている。ここでは、国家と家族を中心とした体制が、国により定められ、個人は完全に欠落していた。社会や国家についてルソーは“自由と平等な個人から出発しながら社会契約を通じて、社会ないし国家が成立する。”²⁸⁾としている。公共という概念は、個人の尊厳を基盤とし、民主的な社会の中で成り立つもので、個人から出発していない明治国家のもとでは、“公共”の議論は進まず、成熟する事が出来なかった。^{3),29),30)}

(2) 明治以降の土木事業と背景

江戸時代までの土木事業は、自然に対する畏怖の念と、人間も自然の生態系の中で生かされているという日本人の自然観のもとで行われてきた。自然を制御するのではなく、自然と折り合い

をつけながら築造（潜り橋、流れ橋など）し、更に自然生態系の再生に気を配りながら行われた。すなわち、特異な事象（巨大地震、台風、豪雨など）にはミニマムの被害で済むように対応し、早期に回復できるように工夫をした。一方、明治の技術者は近代化の旗印の下、西欧的思想である、自然は人間によって征服されるものという自然観^{3),29),30)}のもと、多くのお雇い外国人技術者の指導で土木事業を推進していった。先端技術の早期導入を図る明治政府は、各ジャンルの最も進んだ国から技術者を招き入れた。基礎理論はドイツ、フランス、鉄道技術はイギリス、医学はドイツ、河川工学はオランダと、高額な報酬を支払い極めて優秀なお雇い外国人技術者が来日した。お雇い外国人から指導を受けた日本の技術者は江戸時代からの技術の蓄積もあり、急速に外国人技術者から自立していった³¹⁾。

維新政府はお雇い外国人には政策にはタッチさせず、あくまでアドバイザーとしての位置しか与えなかった。日本人技術官僚が外国人に代わっても脇役としての位置は変わらず、政策の意思決定はすべて文官の官僚が掌握していた。明治国家の富国強兵・殖産興業が進展し、公共事業が拡大発展していく中、技術官僚も自信を深め、行政上の活躍を求め始めた。特に、古市公威、直木倫太郎、宮本武之輔などの活躍があり、大正初期、漸く科学行政の制度化が実現した³¹⁾。しかし、その後土木技術官僚は活躍の場を求め、当時力を持った軍部と親しく緊密な関係を作っていく、満州大陸経営に積極的に参画し土木事業を行った。当時の土木技術官僚トップの宮本武之輔の対満州観は軍部と非常に近いものであった。満州国建国の直前に宮本は日本工人倶楽部機関紙「工人」の巻頭言に寄稿し、『広漠九万余方里、つきせぬ富源として伝えられる満蒙の新天地は吾等がためのメッカであり、技術界匡救共の絶好地帯である』とし³²⁾、この際、日本の技術界の力を国際的に示すため、新満蒙策を倶楽部において検討中であると述べている。当時の土木技術者が間接的にではあるが、日中・太平洋戦争に積極的に加担したといわれてもしかたがない。

（3）第二次世界大戦後の土木事業

戦後日本は、国民主権、基本的人権の尊重、戦争放棄などの基本原則を定めた新しい日本国憲法のもと、国民総力で国土の復興に邁進する。戦争放棄の条項が軍事費を抑えることができ、公共事業投資などの社会資本の拡充を可能にし、高度成長へと進んでいった。1950年代半ば以降、成長神話（一成長こそ望ましく、正しいこと）のもと列島全体で社会資本の整備が行われた。この間の土木事業は、大型機械の導入や土木材料の改良、開発で次々と大型プロジェクトを遂行していった。特に、名神高速道路の開通（1963年）、東海道新幹線の開業（1964年）、東名高速道路の全通（1969年）は、航空航路の整備と合わせ、高速輸送機関による東海道メガロポリスの形成に至らしめ、わが国の産業の中核的機能が高度化し、経済発展に大いに貢献した。しかし、この経済性、合理性、効率性を第一義とした国土の開発は、日本人が一番大事にしてきた自然の再生が不能な状況を生み出しつつあることに気づいていなかった。生活は便利で豊かになり、より

安全になったが、一方では地域の格差が広がり、無節操な資源の採取による材料の使用と破棄は、自然再生の循環を破壊し、生態系の持続が不可能になることを予感させるまでになっている。

また、明治国家では排除された個人の尊厳が、戦後の日本国憲法で、基本的人権の尊重という形で明文化された。しかし、公=国家、権力として、個人が抑圧されてきた国民は、公と私を常に対立的にとらえ、公=国家は戦争に駆り立てた悪であり、個人の自由と平等が最善であるという偏った個人主義が蔓延することとなる。その結果、“個人を尊重しつつ正義のもとでの公共”という考え方が、せつかくの戦後の新しい民主主義の中で、芽生えるチャンスを失った。この事が、現在も根強く存在する“公共工事悪玉論”の一因と思われる。

現在は、1990年以降バブルの崩壊とともに、社会構造が大きく変化し価値観も含めた大転換期の真ただ中にある。

2.7 まとめ

この章をまとめると以下ようになる。

(1) 日本の土木事業は古代から現在に至るまで、決して市民の側に立ったものではなく、いつの時代でも権力サイドの要求に沿って行われてきた。

(a) 古代では、自然や靈魂のほか理解不能な事象に対するおそれや、各地域の豪族の権威の象徴として渡来技術者を組織し、巨大古墳や大寺院が築造された。

(b) 律令制国家が確立して来ると貨幣経済が浸透し、支配層と一般民衆の貧富の差が拡大し、天皇一族、貴族、大寺社の勢力拡大のため免田の開発や交易の為の港湾などの大型土木事業が行われた。

(c) 戦国後半から江戸初期に行われた新田開発などの大土木事業も強力領主や富豪といわれる商人によって彼らの蓄財を目的として実行された。此の事で、実際の耕作者である百姓（民衆）は潤わず、ますます貧富の差が拡大していった。

(d) 封建社会までの土木事業は庶民の生活を便利にし、安全にしてきたことは事実であるが、半面、貨幣経済が浸透してくると格差を助長する基盤となった。

(e) 明治以降も富国強兵や満州国経営の先駆になるなど土木事業の目的は常に国家の益であった。

(2) 江戸時代までの土木事業は自然を制御するのではなく、自然と折り合いをつけながら築造（潜り橋、流れ橋など）し、更に自然生態系の再生に気を配りながら行われた。

(3) 明治以降、ヨーロッパ科学技術文明を導入し、自然は人間によって改変されるものとする西欧の自然観により土木事業が遂行されてきた。

(4) その結果、1950年代半ば以降、成長神話の下、猛烈な社会資本の整備が進み、生活は便利で豊かになり、より安全になったが、一方では地域の格差が広がり、無節操な資源の採取による

材料の使用と破棄は、自然再生の循環を破壊し、生態系の持続が不可能になることを予感させるまでになっている。

第2章の参考文献

- 1) 土木学会：土木の未来・土木技術者の役割，平成18年度土木学会会長特別委員会報告書，21pp.，2007.3.
- 2) 土木学会：JSCE2010－社会と世界に活かそう土木学会の技術力・人間力－，84pp.，2008.5.
- 3) 富松義晴，三輪滋，濱田政則：社会史より見た土木の検証と新たな展開，土木学会論文集 F5(土木技術者実践)，Vol.68，No.2，pp.63-73，2012.11.
- 4) 武部健一：土木史研究20年－過去の成果と将来展望－，第20回土木史研究発表会（特別招待論文），pp.1-14，2000.5.
- 5) 長尾義三：物語日本の土木史 大地を築いた男たち，鹿島出版会，287pp.，1985.1.
- 6) 土木学会：人は何を築いてきたか－日本土木史探訪－，山海堂，353pp.，1995.8.
- 7) 国土政策機構：国土を創った土木技術者たち，鹿島出版会，334pp.，2000.2.
- 8) 田村善子：土木のこころ－夢追いびとたちの系譜－，山海堂，272pp.，2002.5.
- 9) 土木学会：技術者たちの近代 図面と写真が語る国土の歴史，土木学会誌叢書4，p129，2006.6.
- 10) 緒方英樹：人物で知る日本の国土史，オーム社，207pp.，2008.8.
- 11) 土木学会：明治以前土木史，1936.
- 12) 馬場俊介：土木史研究の現状と展望－土木計画額との相補的連携を含めた今後の展開－，土木学会論文集，No.632/IV-45，pp.17-28. 1999.10.
- 13) 小川博三：日本土木史概説，共立出版，1975.
- 14) 石井進，五味文彦，笹山晴生，高埜利彦：詳説日本史改訂版，山川出版社，2010.3.
- 15) 国土交通省：国土画像情報（カラー空中写真），国土交通省国土計画局参事官室 GIS ホームページ，
http://w3land.mlit.go.jp/cgi-bin/WebGIS2/WC_AirPhoto.cgi?IT=p&DT=n&PFN=CKK-85-2&PCN=C2&IDX=8，撮影年度：1985年度，5万分の1地形図名：大阪西南部，整理番号 CKK-85-2.
- 16) 日本の古墳：<http://www.asuka-tobira.com/kofun/kofun.html>
- 17) 千田稔：平城京遷都，中公新書，pp.181-184，2008.
- 18) 筑波大学：企画展示；古地図の世界－世界図とその版木－，
<http://www.tulips.tsukuba.ac.jp/exhibition/kochizu/gazou/3-1.html>，2008.10.
- 19) 古河歴史博物館：企画展示；地理学者鷹見泉石が収集した絵地図の世界－日本図のあゆみ－，
<http://www.city.ibaraki-koga.lg.jp/rekihaku/2001haru/shougaisho.htm>，2001.3.
- 20) 阪急交通社 HP，世界遺産，奈良(大仏)：<http://www.hankyu-travel.com/heritage/japan/nara.php>.

- 21) 網野善彦：日本社会の歴史(上)，岩波新書，p.134，1997.
- 22) 近江俊秀：道が語る日本古代史，pp.191，朝日新聞出版，2012.6.
- 23) 大石慎三郎：江戸時代，中公新書，p.22，1997.
- 24) 大石慎三郎：『江戸時代』，中公新書，p85，1977.
- 25) 丹保憲仁：都市・地域 水代謝システムの歴史と技術，鹿島出版会，pp.44-48，2012.7.
- 26) Wikipedia：見沼代用水，
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%A6%8B%E6%B2%BC%E4%BB%A3%E7%94%A8%E6%B0%B4>.
- 27) 網野善彦：日本社会の歴史(下)，岩波新書，pp.143-145，1997.
- 28) 竹沢尚一郎：社会とは何か，中公新書，p30，2010.
- 29) 富松 義晴：自然環境再生への土木技術者の役割—土木分野における木材利用のすすめ—（特別講演論文），木材利用研究論文報告集 10，土木学会木材工学特別委員会，pp.1-4，2011.8.
- 30) 富松義晴，沼田淳紀，濱田政則，三輪滋：土木事業における木材利用による地球温暖化防止および林業再生への貢献，土木学会第19回地球環境シンポジウム講演集，pp.51-56，2011.9.
- 31) 大淀昇一：技術官僚の政治参画—日本の科学技術の幕開き，中公新書，pp.20-27，p121，1994.
- 32) 宮本武之輔：新満蒙連邦の確実化と技術的進出の急角度的展望，日本工人倶楽部機関誌「工人」，1932.2.

第3章 土木界を取り巻く社会状況とその根源

3. 1 土木界を取り巻く社会状況

現在、我が国の土木界は、かつてない閉塞感に覆われている。

第2章において、その背景を探るため、日本の歴史の中で、土木が社会の中でどのように位置づけられてきたかを検証した。土木事業は、もともと権力者の権力の誇示や勢力拡大のために実施されたこと、一部には公共的な事業も実施され、公共の考えの萌芽もみられたが、結局は公共の考えが十分に根づかず、公共事業である土木事業が必ずしも市民の立場で行われてこなかったことから、これが公共事業に対する正しい理解を損ねたこと、それに加えて、明治以降には、自然は改変すべきものという西洋的自然感で公共事業が行われ、自然に対する謙虚さが失われたことが、社会の中での土木の捉え方、土木技術者の姿勢にひずみをもたらす原因となったと考えられることを述べた。

本章では、土木界が陥っている閉塞状況の根源的な要因を知るため、現在の文明を支える思想的原理や公共概念の欠如の時代的背景を整理する。まず、現在の文明を支えている哲学、思想的原理を考え、その上で土木事業や土木事業に起こっている現象の把握と分析を行い、それらがどのように土木の社会的評価の低落に結び付いているのかを明らかにする。そして、土木技術者や土木事業に対する社会的批判は十分根拠のあることであり、事実を認めることが、再出発の原点となる重要であることを述べる^{1),2),3),4),5)}。

これらの整理をすることで、次章で、現代の文明が招いた地球環境問題を念頭に置きつつ、新しい土木への展開を議論する下地とする。図3. 1に、この章で示す現代社会の思想的背景、公共概念の欠如の歴史的背景、土木事業の状況、土木技術者の状況、社会的評価の低落という土木界を取り巻く社会的状況をキーワードで整理したものを示す。この図に沿って、本章の議論を進めていく。

3. 2 現代社会の思想的背景^{1), 2), 3), 4), 5)}

土木は、その時代の人間の営みの為の社会基盤であり文明の支えである。現在の土木界が陥っている閉塞状況の根源的な要因を知るには、現時点で起こっている表層的現象の把握と分析だけではなく、現在の文明を支えている哲学、思想的原理を正しく理解する必要がある。そこで本章でははじめに、現在の文明を支えている哲学、思想的原理を考察することから始める。

現在、世界は近代ヨーロッパ文明の支配下にある。この文明は、科学技術の文明であり、力の文明である。近代ヨーロッパ哲学の始祖はデカルトである。デカルトは、思惟する人間と物質のみが、真に存在するものであるとした。物質の探究を科学技術が推し進め、物質への信頼が近代文明の前提になっている。人間と物質だけが真の実存とすれば、自然も動植物も人間の為に利用

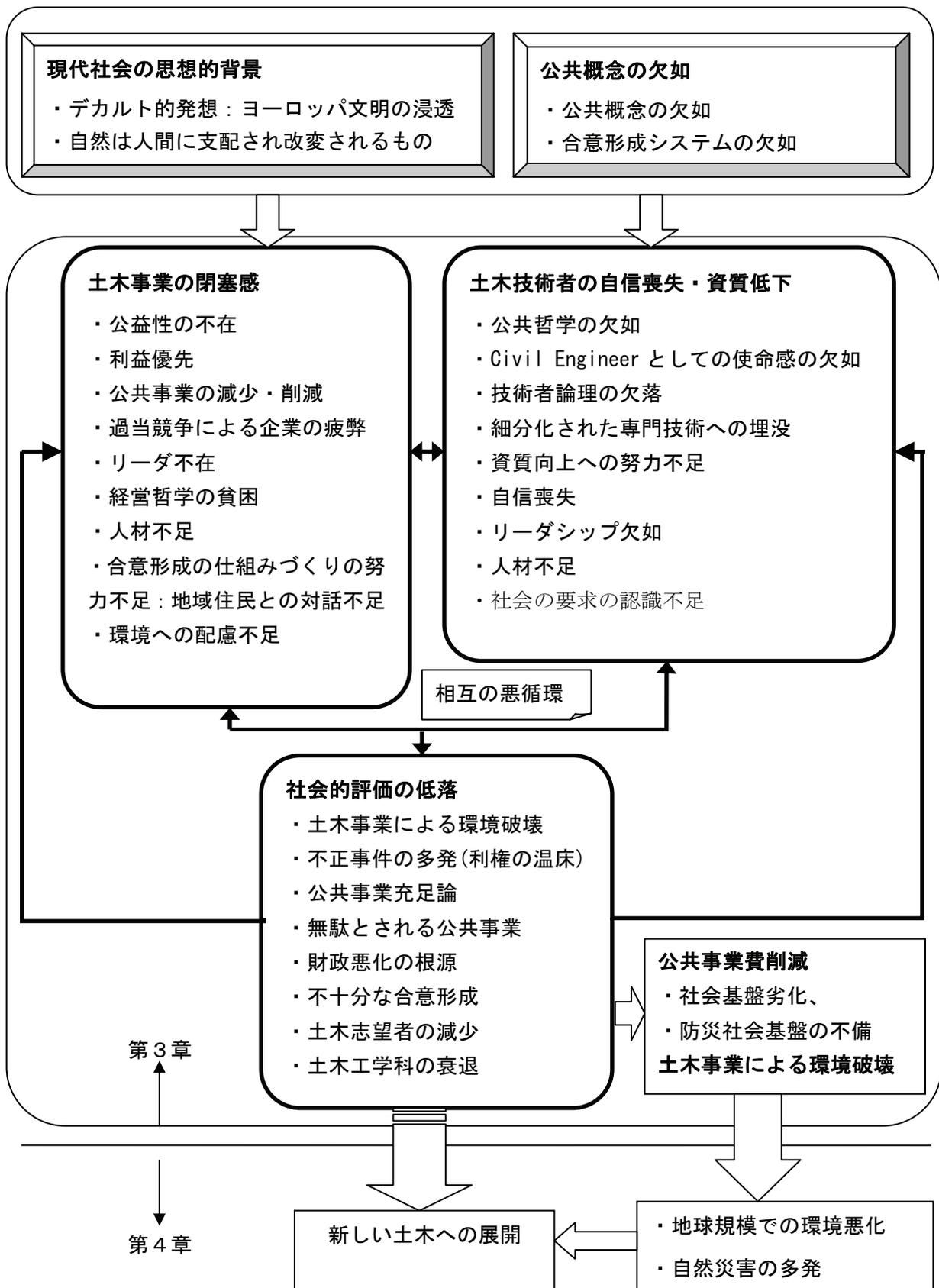


図3. 1 土木界を取り巻く社会状況

されるべき単なる物質である。デカルトに始まる近代ヨーロッパ思想では、「幸せな人類社会の構築は自然を技術の力で改変して達せられる」というものであった⁶⁾。デカルトの思想では、自然は人間に支配され改変されるべきものなのである。

最近よく言われる“自然との共生”や“持続可能な・・・”などのフレーズがややもすると虚しく響くのは、われわれの思考が近代ヨーロッパ哲学に洗脳されているからと思われる。デカルト哲学からすれば、人間が、人間の支配下の物質である自然と対等な関係として共生することはありませんし、人間にとって利用するだけの動植物や自然と、人間に不利益な形での共存・持続など考えられない。2010年に発生した口蹄疫問題でも、感染していない20数万頭の牛の殺処分や、鳥インフルエンザ感染における同様な処置など、動物を物質と扱うことに何の抵抗もなくなっている我々は、まさにデカルトの弟子である。現在のわれわれの文明は、一言でいえば人間以外の生物の生命を認めない文明である^{1),2)}。

このようなデカルト哲学を基礎として産業革命がおこり、西欧による植民地政策を経て、世界は物質と進歩を信仰する近代ヨーロッパ文明に統一された。産業革命により科学技術が急速に進歩し、それは、人類に大きな繁栄と豊かさをもたらしたが、一方、デカルト哲学を基礎にしたヨーロッパ文明下で、自然の再生を無視した資源の無原則な採取と廃棄が行われ、それが自然生態系を破壊してきた。

現在の地球人口は約70億人であり、さらに増加の傾向にある。飽和人口は100億人前後⁷⁾といわれており既にその半数以上に達し、人類の生存に必要な食料、水、資源の不足が顕在化してきている。技術が人口の増加を支えている側面は大いに評価されるが、地球規模での大気、水、土壌の汚染や森林の減少、それに伴う自然生態系の破壊など環境に対する負の影響も無視できないようになってきた。

江戸時代までの土木事業は自然を制御するのではなく、潜り橋や流れ橋にその典型的な事例が見られるように、自然と折り合いをつけながら築造し、更に自然生態系の再生に気を配りながら行われた。

我が国は明治以降、猛烈な勢いでヨーロッパ文明を取り入れ、技術大国となり豊かな生活を手に入れた。ヨーロッパの科学技術文明を導入することは、同時にその思想も受け入れることになり、ヨーロッパ文明の指導原理が浸透し、無意識のうちに我々の文化が近代ヨーロッパ哲学の足下となっている。特に、1960年代以降、土木事業においても、化石燃料によるエネルギーを大量に使用して加工する材料（セメントや鉄、その他ほとんどの資材など）を経済性、合理性、効率性を至上なものとして使用し、工事を行ってきた。このような状況下、自然を畏怖し、自然に対し力で立ち向かうのではなく“折り合い”をつけながら対峙するという日本人の自然観は完全に排除され、すべての生きとし生けるもの、すなわち衆生として敬う日本古来の思想は消滅した。

“自然は人間によって改変されるべきもの”という近代ヨーロッパ哲学のもと、社会資本の整備

が進められてきたが、人間圏を含む人工生態系さらには自然生態系が再生不能になりつつある。

更に、“自然は人間により解明され征服されるもの”とするヨーロッパ近代思想下で、誤った安全神話（多くの不明確な条件の基に組み立てられた理論の上で安全であれば、絶対的に安全であるという神話）が作られ自然に対しての謙虚さが失われている。土木技術者は、土木が経験工学だといわれることを嫌い、また、説得力の弱さを補強するために、不明な部分を「仮定」し、時には強引に理論構成して科学的根拠としてきた。しかし、自然と対応する土木技術は“科学的根拠”では収まらないものもあることを認め、自然との折り合いという形で解決することも必要である。

3. 3 社会と土木界における公共概念の欠如の歴史的背景⁴⁾

(1) 公共概念の欠如

土木事業はいつの時代においても、常に公共性（万人に開かれ広く公示されたすべての人に共通する世界）の観点から論じられなければならない、公共の利益が評価の基準となる。しかし、明治以降、我が国における土木事業は、富国強兵、殖産興業の国策のもと、公共性をあいまいにしたまま、あるいは、故意に避け欧米キャッチアップをスローガンに国土開発を推し進めてきた。この事で公共事業を主とする土木が、単なる国策の道具でしかなくなり（あるいは、しかない）と受け取られ、土木に対する評価も、道路事業において、将来交通量予測が適切さを欠き、かつ、未公開のまま事業が着手されることや、河川の治水事業である河川改修や利水事業であるダム の計画着手にあたり、水文統計などの資料の公開が必ずしも十分でないことといった、国の施策の不手際に対する評価と連動した低い評価しか受けてこなかった。社会からの土木事業への批判は、われわれ土木技術者の自負や矜持とあまりにも乖離があり、土木技術者の自信喪失と土木界の閉塞感の最大の原因でもある。我が国の社会や土木技術者の公共の理念いわゆる公共哲学の欠如は、土木事業の環境への対応においても、後始末的处理や現状を糊塗するといった後向きの姿勢でしか対処できなかった。

第2章で見たように、日本においては、古来、土木事業は権力者の権力の誇示や勢力増強のための事業として行われてきた経緯があり、民や公共のためのものではなかった。以下で、その後、封建制下で一時期、公共の考えの萌芽は見られたものの、十分に根づかず、明治以降の政策の影響を受けて、現在も公共事業に対する正しい理解が得られていない歴史的背景を整理する。

我が国における公共的思想の萌芽は、封建身分制下でありながら安定した貨幣経済が浸透し、またそのことによる社会的問題が出始めた江戸時代初期にみられる。中江藤樹は、儒教や陽明学に影響を受け、“人がおかれた時と場所と地位に応じてそれぞれ最善の礼法を考える”という個人の主体性と社会秩序についての考え方を著わした⁸⁾。この思想に師事した熊沢蕃山は社会変革のビジョンと結び付け、治水、治山、新田開発などの土木事業を行った。その後儒学、朱子学を背景

に為政者の公共性、庶民の公共性、商人の公共性などが説かれたが、封建体制の是認が前提であった。幕末になり西洋文化が少しずつ入りだした時期、横井小楠により公共の基本概念を論じた本格的な公共哲学が提唱された。彼は“公共の天理”という理念を掲げ“他者との討論を通して形成される公論”によって日本が“有道の国”になると説いた⁹⁾。この公論の思想は明治維新の五箇条の誓文にとりいれられた⁸⁾。“広く会議を興し万機公論に決すべし”とした明治維新政府は、少なくとも当初は、民のための公共性に政治の正当性を求めていた。しかし、1889年の明治憲法とその翌年の教育勅語の発布で公議、公論の思想は消滅してしまった。個人より天皇、国家が先行することが明確にされた教育勅語により、個人を犠牲にして公に尽くすという意味の徹底した滅私奉公が奨励された。こうした滅私奉公は、公共はすべて公が受け持ち、民は公に与えられたものを享受するだけでよいとする考え方になっていった。そしてその思想は現在に至るまで根強く残存し、新しい公共の論理を展開するうえでの大きな弊害となっている。

明治維新以降も、土木事業は富国強兵や満州国経営の先駆になるなど、その目的は常に国家の益であり、個人の尊厳をベースとした公共哲学のもとに土木事業が論じられることはなかった。その背景には、明治政府が富国強兵を急ぐあまり産業革命後の科学技術だけを移入し、それをコントロールする公共性に関する思想は取り入れなかったことにある。本来、土木事業の公共性を担保する、“個人の尊厳”を核とした公共哲学も同時に取り入れるべきであったが、明治政府は国の形を、天皇を頂点とした古代律令国家を目指し、国家が中心であり“個人”は国家に忠誠を誓う体制とした事で公共哲学が醸成されることはなかった。このような国粋主義的国家による強圧的な土木事業の推進は、西欧に大きく遅れていた社会資本の整備や、科学技術を急速に進展させたが、反面、“個人の尊厳”を無視し、思想的支えのない科学技術は、技術のキャッチアップや貧しさが解消してくると大きな壁にぶち当たることとなる。こうした中、お雇い外国人技術者から自立した日本の土木技術のリーダーたちの一部は、軍部思想に同化し満州国経営の先駆となっていった¹⁰⁾。第2章でも述べたが、宮本武之輔が満州国建国の直前に日本工人倶楽部機関紙「工人」の巻頭言に寄稿し、『広漠九万余方里、つきせぬ富源として伝えられる満蒙の新天地は吾等がためのメッカであり、技術界匡救共の絶好地帯である』とし¹¹⁾、新満蒙策を土木技術発展の契機にしようとしたことが窺える。当時の土木技術者は純粋な工学分野の技術者であり工学者であっても、国策に関与する立場が弱く、思想的バックボーンがなかったことから、結果的に誤った国策にも忠実に従うこととなった。『工部省沿革報告』の明治四年の記事には、「凡ソ工部各科ノ事業ヲ担当スル官員ハ学識ニ富ミ、事業ニ長シ、学問技術兼ネ備ハル者ヲ要ス。然レトモ其官階ト官級トハ一科技術家ニ止ルカ故ニ、他ノ事務ヲ幹理スル官員ニ比スレハ其位置ヲ卑フシ、而シテ其俸給ヲ厚フセサルヘカラス」¹²⁾とある。明治政府の技術者についての当初からの考え方が伺われる。それは、実際の技術者の就職状況にも現れている。表3. 1に文部省第40年報に記された東京帝国大学創立から明治45年までの卒業生の創業後の状況を各分科大学ごとに示す¹³⁾。行政官吏は法

科大学の出身者がそのほとんどを占め、工科大学出身者はほとんどいないと言っていい。工科大学の出身者の就職は、官庁や会社の技術員が大部分を占めていることがわかる。これらのことから、工学者が国策に関与する立場が弱かったことがわかる。

表 3. 1 東京帝国大学創立以来、明治45年までの卒業生の卒業後の状況¹³⁾

種別	法科大学	(比率)	工科大学	(比率)	農科大学	(比率)	医科大学	文科大学	理科大学
行政官吏	876	23.6%	2	0.1%	9	0.9%	8	17	
司法官吏	594	16.0%	—				—		
宮内官吏	12	0.3%	5	0.2%	2	0.2%	15	6	2
学校職員	66	1.8%	194	7.3%	175	17.1%	175	1152	373
官庁技術員	—		1006	38.1%	458	44.8%	59		
官庁及び病院医員	—		—		60	5.9%	842		89
帝国議会議員	23	0.6%	—		4	0.4%	2	8	2
弁護士	235	6.3%	—				—		
会社等技術員	—		914	34.6%	31	3.0%	—		10
銀行及び会社員	576	15.5%	41	1.6%	7	0.7%	20	19	13
医術開業者	—		—				414		
獣医開業者	—		—		5	0.5%	—		
外国政府または会社等の 招聘に応じたる者	14	0.4%	26	1.0%	7	0.7%	—	8	2
その他の業務者	401	10.8%	76	2.9%	55	5.4%	7	40	3
大学院学生	10	0.3%	4	0.2%	14	1.4%	43	64	15
外国留学生	21	0.6%	21	0.8%	6	0.6%	47	12	9
他分科大学生	2	0.1%	2	0.1%	6	0.6%	—	3	5
職業未定または不詳の者	648	17.4%	153	5.8%	78	7.6%	38	46	44
死亡したる者	240	6.5%	196	7.4%	105	10.3%	239	82	74
総計	3718		2640		1022		1909	1457	641

このように、明治以降、新しい科学技術を支える思想を持たなかった国民は、公（=国家・権力）のする事には従順で逆らわず、その結果、公共的事業は、お上（公）がすべきこととして、個人にとってはただ受け入れるだけのものとなった。

第2次大戦後、我が国は民主主義国家として復興を目指し、個人の尊厳が基本的人権として尊重されるようになるが、明治以降、新しい科学技術を支える思想を持たなかった国民は一転して、公=国家、権力と私=個人を対立した関係としてとらえた。公共的事業は、お上（公）がやるべきこととして、個人にとって利害だけが興味の対象となった。

戦後、基本的人権を謳った新しい日本国憲法が制定され、個人の権限が強調された。また一方で、滅私奉公というゆがんだイデオロギーを批判した公私二元論¹⁴⁾が論じられるようになった。この公私観は、公領域では政治や司法、国家の税金で賄われる領域、私領域は個人の幸福追求、家庭、経済、宗教などの領域とみなし、基本的人権にかかわる個人のプライバシーに公権力の不当な介入を否定し、公領域との区別を図る考え方である。公私二元論は、私的活動に公は介入すべきでないとするものだが、家庭、経済などが公的枠の中で行われる点でその限界を見ることができる⁸⁾。しかし公私二元論は我が国で現在も主流をなし、アメリカナイズされた市場原理主義者や、個人の権利のみを声高に主張する個人主義者の思想的背景になっている。戦後、早急な国

土の復興と欧米に対するキャッチアップポリシーの要求のもと、滅私奉職～いわゆる家庭を犠牲にしても仕事第一で働く～（著者もその一人）が美德とされ、世界に類をみない速さで成長を遂げた。

1960年代までの“追いつけ追い越せ”は、1970年代になると、その目的を達成し、一転して個人の権利だけを偏狭に主張し公共性を全く考慮しない滅公奉私（滅私奉公）の風潮が蔓延してきた。こうした中では、公共とは政府（お上）と同意語であり、政府（公）の行う公共事業は、個人にとって利益になるかが唯一興味の対象であり、“多くの他人の利益”は全く考慮されない。ここには、“民のための公共”という発想はなく現在の土木の閉塞感の一つである“コミュニケーションによる合意形成”は成立しづらいという現状がある。この閉塞感を打破するには、公および民、共に共感できる公共の理念、原理が構築されなければならない。

（2）合意形成の仕組みの欠落

公共概念の欠如は、公共事業で最も重要な合意形成の仕組みにも影響を及ぼしている。我が国は、明治期にヨーロッパ近代科学技術をそのまま無条件で取り入れたが、公共の概念の議論は行われなかった。その頃の合意形成の仕組みは日本古来の地域共同体を基盤とする“地縁”であった。共同体のリーダーには、正義と公平さがもとめられ、そのことでリーダーの決定には、全員が従う習わしであった。こうした地域コミュニティの形は、1960年代の団地化が進み地域コミュニティが空洞化しだすころまで続き、公共事業に対する民意が一本化する役割を果たしてきた。公共事業の談合の存在も、こうした物事の決め方が容認された世の中であったことと無関係ではない。しかし、1960年代以降急速に大小地域のコミュニティが崩壊していく中で、新しい公共事業の合意形成システムが形成されないまま事業の遂行が成され、その過程で利権や環境破壊、談合などが生じ、土木事業に対する社会的信頼を失った。

1980年代までの経済の成長期では、全ての人に市場経済の恩恵がいきなり市場主義経済は支持され、企業の生産性向上活動も称賛された。しかし、1990年代に入り、バブル経済が崩壊し経済が停滞し始めると、企業間、個人間に利害対立が始まり、様々なことに合意形成が困難になってきた。この利害の対立は企業の“自社の利益追求”を加速させ、これに反して、個人は徹底した利己中心主義に走った。

このように、明治以降急速な社会資本の形成が、公共性についての思想を確立せず、江戸時代からの“地縁”に頼り進められてきた事が今日の混乱を招いている。実際に、地域の要望で計画され立案された公共事業が、いざ実行にかかると合意が得られず、着工できないという不思議な事態が生じている。

3. 4 土木事業の閉塞感⁴⁾

最初にも述べたが、今、我が国の土木界は、かつてない閉塞感に覆われている。社会には、贈収賄や談合などの不正行為はあたかも土木界特有の事件であり、公共工事（土木事業）が自然環境破壊、さらには財政赤字の元凶との認識がある。

本来、土木事業とは、50年あるいは100年という長期の視点で責任を持つべき行為である。特に、自然災害のリスクが高い日本においては、長期的視点で地震や洪水などリスクの高い自然災害への備えを進める必要がある。しかし、表面的な“経済合理性”や“効率性”を第一義とする現在の市場経済社会の中で、公共事業充足論や公共事業不要論が主張されるようになった。社会からの不信と、土木界の閉塞感にはこのような背景があるのは事実ではあるが、土木技術者の、このことに対する十分な説明と合意形成への努力不足は否めない。また、個別企業の利益を優先し、公共性への配慮が不足したこと、合意形成の仕組みが不十分な中で、地域住民との対話が不足したこと、および、環境への配慮の不足と環境破壊が発生したことなどが、さらなる不信を募らせる原因となっている。また、過当競争に走り、建設業界みずからの疲弊に拍車をかけ、そのような事態への対処を遅らせる結果となっている。

こうした流れが放置されているのは、企画者である政府の混乱、企画実務者である官僚の自信喪失とリーダーシップの欠如、事業の実施場所である地方の人材不足、企業経営者の哲学の貧困、問題認識の甘さ、リーダーシップの欠如などが考えられる。また、本来総合的な工学である土木工学が、専門に細分化し、総合的な視野を持つ人材が不足していること、さらに、そのような人材を育てる教育システムがないことにも問題がある。

土木事業に対する批判の中に公共事業（中でも土木事業）が利権の温床になっているということがある。この事は表面に出づらいう事と、事件になりづらいう理由から、なおさら不信が増大する傾向にある。1925年(大正14年)普通選挙法が施行されて以来、議員は選挙区の要望事業に予算付けすることを第一の使命としてきた。これにより生ずる問題は、予算付けされた事業が、その議員個人の事業と錯覚してしまうことである。高度成長期、A議員の選挙区内で施工された工事でコンクリート1立方メートル当たり100円が当然の如く上乘せられるという事例があった。ほかにも、ここまであからさまではない色々な方法による様々な利権が存在していた。しかし、当時の土木界には問題と感ずる土壤はなかった。談合については、完成前の土木構造物などの品質を市場の価格競争で判断すべきではない、という点で必ずしも悪であるとは言え無いが、贈収賄と結び付いたことで批判に対する反論の正当性を失った。これが不正行為が土木界特有であり、かつ多発しているという社会の評価に繋がっている。

このように、土木事業そのものに、社会の評価を低下させる要因が多く存在しており、それらを真摯に受けとめるところから、再出発の道が開けると考えられる。

3. 5 土木技術者の自信喪失と資質の低下⁴⁾

かつて、土木技術者は、“地球の彫刻家”であるとの誇りを持って土木事業に取り組んできた。しかし、いつの間にか社会からは、“環境を破壊する者”と批判されていることに多くの土木技術者は愕然としている。コンクリート護岸による河川生態系の破壊や、大規模土地開発による森林破壊など、経済性、合理性の評価のもとに行った土木事業がわずかの時間を経て称賛から非難に一変した。公共投資の長期的減少や談合問題に端を発した公共事業への厳しい批判の中、一方で、土木界全体の指導者不足から、難局を打開する土木の方向性が示されず、昨今、多くの土木技術者が過度の自信喪失状態になっている感がある。

土木技術者の側にも資質の低下という大きな問題がある。土木技術者が、より品質の高い、より優れた機能の構造物を造ろうとする純粋な技術者魂に自己陶醉し、実施される土木事業が、広く公開され地域の人々の合意が形成されているかといった公共性に対する意識が薄い場合が多く見られる。先にも述べたように、わが国では土木事業の公共性という概念が醸成されてこなかったことから、土木技術者に、このような、公共哲学の欠如や、公共事業に携わるシビルエンジニア（市民のための技術者）としての使命感が乏しい場合が多々見られ、大きな問題と考えられる。また、中には、技術者倫理に欠けた技術者が存在したことも忘れてはいけない。

土木技術者の専門技術への埋没も深刻である。社会資本整備がある程度まで達成され、成熟期に入った現在の国づくりでは、要求される内容が大きく変化した。社会の防災性の向上、自然環境と都市環境の保全、社会基盤整備への合意形成などの多面的な要求に答えるために、広い分野の知識と見識が土木技術者に必要とされている。従前に比べ、水平展開型の技術体系とそれら全体を総合的にマネジメントする技術が要求されている。国づくりにおいてリーダーシップを発揮する必要がある土木界が、このような要求に十分に答えて来なかった状況を反省しなければならない。また、土木技術者自身もそのような努力を怠ったのではないだろうか。

古市公威土木学会初代会長は、「工学分野の技術者を統括するものは土木技術者であり、土木技術者は將に將たる者である」とその就任挨拶で述べている¹⁵⁾。このことは現在においてもそのまま真である。土木工学は、本来自然と人間関係（社会）の境界領域にあり、自然との調和のもとで、人々の幸福で平和な生活に貢献することを第一義とした学術・技術である。そのためには、建設技術のみならず、広く理工学分野と人文科学分野の技術と知識の融合と活用が必要であり、土木技術者に要求されるのは広い分野の知識にもとづいた洞察力・決断力・マネジメント能力に裏付けられたリーダーシップであるが、そのような人材が十分に育っている状況とは言い難い現状である。取り扱う技術が広範囲となることで、総合工学とは逆に、専門が細分化され、特定の専門知識に偏った技術者を多く輩出してきているのが現状である。

このような状況の要因の一つは、教育の専門化に起因するところが多い。大学などの土木工学系の教育においても、総合という観点が決定的に不足していると考えられる。評価を技術能力

に求める資本主義体制では、専門技術化が進行し各分野に共通した学問の理念が欠落した教育しか望めず、土木技術者の資質向上のための教育システムの改善が強く求められる所である。

以上の土木技術者の資質の低下は、土木技術者の社会的発言力を大きく低下させている。土木技術者は、自らの社会的評価を低下させる要因を把握し、社会から評価を真摯に受け止めることから、新しい道が開けると考えられる。「黙して語らず、ただひたすら自分の仕事に打ちこむ」ということが土木技術者の美德とされて来たが、個々の土木技術者が積極的に、幅広い見識をもって社会に発信し、働きかけることが求められている。

3. 6 社会的評価の低落⁴⁾

社会からは、土木事業の必要性について多くの疑義が出され、かつ土木技術者そのものに対する社会の評価も著しく低下している。これまでに述べた現代社会の思想的背景や公共概念の欠如という社会システム上の問題、さらには土木事業や土木技術者が抱える課題が、土木技術者と土木事業の社会的評価の低落の要因となり、適切な社会資本の形成やその保全・補修を施工するという公共への貢献度の低下や土木界から社会への情報の発信がためられる状況を引き起こしている。

このような土木界の混乱は、財政再建の最も容易なターゲットとして、公共事業費の削減につながり、建設業の疲弊、社会基盤の劣化、防災社会基盤の不備による災害への脆弱性の増大などを引き起こしている。この様な状況を放置すれば、地球規模での環境悪化とそれを起因とする自然災害の多発などが懸念される。このことは、平成23年3月11日に起きた東日本大地震、大津波、それに伴う原発事故に対しての防災事業に関して如実に表れていると思われる。

さらに、昨今極めて憂慮すべき事態は、このような状況を受けて、若手人材の土木離れや土木工学を志望する学生の減少と大学などの土木工学科の衰退が進んでいることである。また、土木工学科を卒業した学生の多くが建設業へ就職することを希望しないという状況が出て来ている。このことは公共事業費の削減と重なって、中・長期にわたって建設業の衰退の原因となる。新しい次代を担う若い優秀な人材が、土木に対し魅力を持たず技術の継承ができないとすれば、国土の荒廃が進み、国民の安全・安心な生活が保障されないことを意味する。

以上に述べた土木界を取り巻く閉塞的状況の関連は、**図3. 1**に示した通りである。

そのバックボーンとなるものとして、

- 1) 現代社会の思想的背景
- 2) 公共哲学の欠如を招いた歴史的背景

に分けて整理し、閉塞的な状況は、

- 1) 土木事業の事業遂行や企業、業界にかかわる問題
- 2) 土木技術者自身に内在するもの

3) 社会的評価の低落

に分けてこれまでに述べた。

これらの要因が複雑に絡み合い、社会の土木界に対する不信感を増幅している。こうした社会的評価の低落は土木界の過度の自信喪失、土木業の魅力喪失。若手人材の土木離れ、合意形成の困難などにつながっている。

土木事業は公共性の強い行為、或いは公共そのものであり、多数の合意と長期にわたる評価に耐えるものでなければならない。それ故に、土木に携わる土木界及び土木技術者には、高い倫理観と工学者としての良心が求められる。しかし、社会の土木技術者と土木界に対する厳しい批判は、技術者倫理の不足と工学者の良心が欠けていた事を指弾したものであり、我々は、これを認めることから始めなければならない。

第3章の参考文献

- 1) 富松義晴：自然環境再生への土木技術者の役割—土木分野における木材利用のすすめ—（特別講演論文），木材利用研究論文報告集 10，土木学会木材工学特別委員会，pp.1-4，2011.8.
- 2) 富松義晴，沼田淳紀，濱田政則，三輪滋：土木事業における木材利用による地球温暖化防止および林業再生への貢献，土木学会第 19 回地球環境シンポジウム講演集，pp.51-56，2011.9.
- 3) 富松義晴，沼田淳紀，三輪 滋，濱田政則：土木技術者の役割の再考と木材利用の提案，土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集，共通セッション，pp.31-32，2011.9.
- 4) 富松義晴，三輪滋，濱田政則：社会史より見た土木の検証と新たな展開，土木学会論文集 F5(土木技術者実践)，Vol.68，No.2，pp.63-73，2012.11.
- 5) 富松義晴，沼田淳紀，濱田政則，三輪滋，本山寛：持続可能社会へ向けた土木事業における木材利用の提案，土木学会論文集 F4(建設マネジメント)，Vol.68，No.2，pp.80-91，2012.7.
- 6) ルネ・デカルト：哲学原理，第 2 部，p23，1644.
- 7) 丹保憲仁：目ははるか地平を，足はしっかりと大地を，土木学会論説，第 1 回(1)，2007.6.
- 8) 山脇直司：公共哲学とは何か，ちくま新書，pp.33-34，p81，pp.87-88，238pp.，2004.
- 9) 横井小楠：夷慮応接大意，1853.
- 10) 大淀昇一：技術官僚の政治参画，中公新書，pp.118-140，1994.
- 11) 宮本武之輔：新満蒙連邦の確実化と技術的進出の急角度的展望，日本工人倶楽部機関誌「工人」，1932.2.
- 12) 工部省：工部省沿革報告(明治 4 年)，1871.
- 13) 文部省：文部省年報第 40 年報，上巻，pp.136-137，1914.
- 14) 梅原猛：哲学の復興，講談社，1997.
- 15) 古市公威：土木学会第一回総会会長講演，土木学会誌，1-1，1915.

第4章 土木技術者と土木の新たな地平の展開

4. 1 土木技術者に課せられた課題と役割、新しい土木のあり方の提示

第4章では新しい土木の在り方（方向性）と土木技術者の役割について述べる^{1),2),3),4)}。

第3章においては、土木界が陥っている閉塞状況の根源的な要因を知るため、現在の文明を支える思想的原理や公共概念の欠如について整理し考察を加え、その上で土木事業や土木事業に起こっている現象の把握と分析を行い、それらがどのように土木技術者の資質低下や土木の社会的評価の低落に結び付いているのかを明らかにした。本章では、まず、そのような社会状況が原因となって、危機的な状況となっている地球環境問題や自然災害の増加の状況を整理し、土木技術者こそがそれに立ち向かうべき存在であることを示す。つぎに、この問題を解決するために、土木技術者が備えるべき思想や自然感、公共哲学の確立や土木事業の在り方について述べ、さらに、土木技術者の使命である持続可能な循環型社会、安全・安心な社会の実現、すなわち新たな土木の地平の展開に向けたロードマップを提示する。そして、それを実現するための著者自らの決意と実施した施策について述べ、その具体的活動を記載した5章につなげることにする。

4. 2 地球環境の悪化と自然災害の増加^{1), 2), 3), 4)}

現在は、文明史的次元で地球的規模の大転換期である。産業革命後の無制限に資源を採取しての成長は、自然生態系を破壊し再生不能を予感させるまでになってしまった。貧しい時代には許された、化石燃料のエネルギーにより作られた土木材料を大量に使用することの修正が迫られている。土木には、人類にとってのみならず、地球にとってどうかという視点の転換、そして便利さから生態系の復元への発想の転換が求められている。これからの土木事業の方向は、使いすぎた資源の後始末、地球あるいは地域が閉じた系としての循環型社会への対応を第一義とすべきである。自然生態系は植物が太陽エネルギーを得て、二酸化炭素と水を原料に有機体を作り上げる。動物は植物を食べ、その廃棄物や死骸を土壌の微生物が分解し、それを養分として植物が吸い上げる。この循環過程が生態系の基本である。この自然の循環の処理能力を超えて廃棄物を投棄し森林を傷つけてきた事が人類存亡の危機となっている。地球環境問題は、重大な局面を迎えていると考えられる。

2011年3月11日に発生した東日本大震災がわが国の国力、国民の生活に与える影響は極めて深刻であり、全国民の力を結集してこの難局を乗り越えなければならない。さらに、マグニチュード9.0の地震の発生による地殻の大変動により、日本列島の応力場が変化し、かねてから発生が逼迫していると考えられて来た東海地震など南海トラフ沿い巨大海溝型地震や首都圏直下地震の危険性をさらに高めることになった。特に首都直下の地震はその被害額が国家予算の1.5倍を超えると予測されており、地震が発生した場合、わが国の国力が決定的に低下し、ひいては国家の

存亡にもつながると考えられる。しかしながら、これらの地震に対する備えは現在、必ずしも十分なものではない。

また、地球規模の気候変動がその要因の一つとなっていると推定される集中豪雨による河川の氾濫、都市水害および高潮などの風水害の危険性も増大している。これらの自然災害に対する社会基盤の整備と補強も十分な状況にはない。

急激な工業化社会の建設、都市部への人口集中と過密化は都市をその周辺域における環境問題を引き起こしてきた。また大量生産と大量消費は深刻な廃棄物処理問題を生じさせている。一方、地方における人口減少と過疎化は、地方都市の経済的疲弊のみならず農地、森林を荒廃させ、都市部での環境悪化と相まって国土の健全性を衰退させている状況にある。農村部の疲弊はわが国の食糧自給率をさらに低下させる要因ともなっている。これらの環境問題や廃棄物処理問題に関しても国民的な合意を得た十分な方策を打ち出せない状況が続いている。

国内では、高度成長時代に比べて都市と地域の環境の改善の傾向はみられるものの、廃棄物問題、水・土壌環境問題、森林の荒廃などの諸問題が未解決の課題として残されている。また世界においても、資源・エネルギー問題、地球温暖化や砂漠化による水源枯渇と食糧危機など解決すべき課題が山積している。

地球の温暖化、森林の喪失、砂漠化の進行などが集中豪雨、異常降雨、巨大台風・ハリケーンの発生など新たな災害発生の可能性を増大させている。また、一方、都市の過密化、地方の過疎化、少子高齢化などが社会の災害に対する脆弱性を増大させている。

このような問題に対処するのは、公共である土木事業の役割である。これまでの不遇の時代を乗り越えて、土木技術者が本領を発揮するべき時代が来ているのであって、土木技術者はその期待にこたえなければならない。

4. 3 土木技術者と土木のあり方

(1) 土木技術者の持つべき思想と自然観^{1), 2), 3), 4)}

地球環境問題は、生態系の復元や循環型社会の構築を我々人類に要求している。しかしながら、世界においては、いまだ生活水準が低く発展が必要な地域が数多く存在すること、爆発的な人口増加の状況下で人口を制御することが難しいことを認識しなければならない。日本においては、我々は生活レベルを江戸時代に戻すことは不可能であるし、人口を4千万人に減らすこともできないのである。

自然環境を復元し、かつ、豊かな生活と安全・安心を担保するためには、土木技術の進化・新技術開発と近代ヨーロッパ哲学に代わる新しい思想が必要である。我々、日本の土木技術者には、明治時代からの純粋な技術者魂を遺産として受け継いでいる。また、自然を畏怖し、あらゆる生物を衆生として共生するバランスを尊ぶ日本独自の自然観が備わっているはずである。

これからの土木技術者は、自然は支配するものとする西欧的自然観から脱却し、自然との折り合いを大切にす日本人の自然観と工学者としての良心を持ち、新しい環境技術を開発することが使命である。特に、生態系循環の基本である木材（植物）、水、土壌に対する技術開発が求められている。ただし、技術（特に土木技術）は自然の法則の中から生まれてきたものであり、自然を制御できない未熟な技術をもって、あたかも自然を制したかのような傲慢な対応をすることは決してしてはならない。土木技術者には特段の自然に対する謙虚さが求められる。日本人にもともと備わっていた、すべての生命を尊び、自然と折り合う謙虚な自然感をもつことが求められているのである。

社会資本整備を担う土木事業は、それゆえ公共性の強い行為、あるいは公共そのものであり、産業の発展を支え、生活を豊かにし、利便性を高め自然の猛威から生命・財産を守ることを大命題とする。このような事業に携わる土木技術者は、公共哲学を身につけ、自然との折り合いを大切にす自然感を持ち、かつ、高い倫理観と工学者としての良心を兼ね備えた存在でなければならない。それ故、地球の再生は、地球環境負荷低減、自然災害軽減へ向けた活動を通じて土木技術者こそが成しえることであり、これこそがシビルエンジニアリング（Civil Engineering）の使命である。

（２）土木技術者、土木事業の公共哲学の確立⁴⁾

土木技術者に求められるのは土木技術者として公共性の概念を確立し、これを堅持することである。

14世紀末～15世紀に貨幣経済の浸透により、新しい形の町村が形成され始め、自分の為だけでなく集落の利益を目的とする公共的発想が芽生えてきた。しかし、このころはまだ、社会という概念はなく、公共的発想はあくまで限定された集団の利益であった。1868年明治維新により我が国は近代化に向け大きくかじを切ったが、倒幕の旗印が“復古”と“攘夷”であったために天皇を頂点とし家族を単位とする国家であった。この事が個人の尊厳を基礎としたヨーロッパの近代社会と根本的に相違したものであった。個人の尊厳から出発しない公共の議論は深まりを見せることができなかった。そこでは、公共は国家の領域であり、公開され討議されるものではなく、国民は与えられたものを黙って受けるだけであった。第二次大戦後、公共の在り方の議論もなく、急速に社会の基盤整備が行われた。一億総中流になり生活が豊かになってきた1970年頃から、個人の自由と権利のみを極端に強張する風潮になり、公共の益について冷静に論じられてこなかった。

さらに、我が国の土木事業は古代から現代にいたるまで、ある程度豊かさや安全をもたらしたとはいえ、土木技術が領主・国家の統治や富豪の蓄財の手段、あるいはグローバルな公共観に裏付けされていないナショナリズムな国策に利用されたことは、いなめない事実である。また一方

で公共哲学の醸成が十分でなく、その結果、残念ながらわが国では公共工事イコール悪という図式が定着してしまった。

まず、われわれ土木技術者はこのような歴史的事実を素直に認識し、現在の大転換期を契機に“公共”の議論を進め、真に市民の側に立つシビルエンジニアリングへの転換を目指すべきである。前章でも述べたように、土木技術者は、土木工学が総合工学であること認識し、公共理念を持ち、公共事業に携わるシビルエンジニアとしての使命感をしっかりと持つことが重要である。

一方、土木事業そのものにおいても公共性の確保が重要である。“公共性”、あるいは“公共的”についての定義は古代ギリシャのアリストテレス以来多くの思想家により語られてきた。現代思想家のアーレントは[万人よって見られ、開かれ、可能な限り最も広く公示されているもの]、[我々すべてに共通する世界]と定義している⁵⁾。公共性は公開され自分とは異なる他者とのコミュニケーションがあり成り立つものである。対話が成立し合意形成が出来るには公共の世界についての共通の理念が必要である。まず、現在主流の個人の利益、一企業の利益、一団体の利益を合理的かつ効率的に追求するが正しいとし、公は民間に介入すべきではないとする市場経済理論が限界にきていることの認識が必要である。私領域である経済活動、宗教活動、芸術活動といえども各種法律に縛られている限り公と完全に切り離すことはできない。私領域も公領域と有機的に関連し、私領域の公共性の合意と公領域の公共性の担保をどう確保するかが重要である。

公共性は「公開」と「討論」により正当化され、正義（公平）、平和、福祉を理念とし地球的公共善を求めるものでなければならない。現在の公私観（公私二元論）が一般的な状況の中、政府（公）が行う事業の公共性を担保するには、公共善に基づき公益を追求する中間団体を作り、公共性の合意形成を担わすことである。現実的には、関連学協会や各種NPOにその能力と権限を付加すべきであろう。

また、合意形成の仕組みが十分形成させていないという問題に対して、国民が、合意形成のためのコミュニケーションに必要な共通の公共哲学を身につけるためには、公正な中間団体、例えば学協会やNPO法人が初等教育についても、積極的にかかわっていくべきで、公共哲学の浸透が急がれる。

公共工事の入札や執行などに起因した土木と土木技術者への社会の批判が高じている現状を打開するために、公および民がともに公共に関する議論を進め、公共の理念と原理を共有することで、国民に受け入れられる社会基盤整備を進めなければならない。そのためには、社会資本が国民生活、国と地域の経済、自然環境にもたらす効果や影響を分析し、客観的にわかりやすく説明すること、さらに社会資本整備の計画・実行過程の透明性を高めるシステムと地域や住民の意見を十分に反映できるような市民参加型の社会システムについて提言し、これらを構築することが必要である。さらに、環境や防災、少子高齢化など社会が抱えるさまざまな課題に対して適切な社会資本のあり方を提案していくことが重要である。

もちろん土木技術者自身、自然と折り合う自然感をもち、公共哲学を身に付けた上で、それを実現するための幅広い分野の知識にもとづいた洞察力・決断力・マネジメント能力に裏付けられたリーダーシップを持つといった自己研鑽の努力が必要である。まさに、古市公威土木学会初代会長のことばである「工学分野の技術者を統括するものは土木技術者であり、土木技術者は将来に将たる者である」の実現である。

さらに、これからの発注形態は、性能規定のように、発注後も、その事業の公共性を最適とする議論が出来るものとする必要がある。そして、企業活動は、企業内において企業の行動が公共善であるかを議論し、公共性を確保する経営を行わなければならない。それには利他の精神を持った企業風土の醸成が必要である。

このような土木技術者のあり方、土木事業のあり方によって、土木に対する社会の信頼回復を実現し、長期的には公共哲学の確立した社会の実現を目指すことができる。

4. 4 新しい土木の展開へのロードマップ⁴⁾

土木技術者が人類の福祉と幸福に寄与する技術者として社会の評価を勝ちとる道は循環社会構築への貢献であり、それによって土木の新しい地平が開かれると考える。

産業革命以前人類は、地球の表面での資源の採取、破棄、利便と安全を求めて地表の改変を行ってきたが、その行為は何度かの文明の滅亡を招くことがあっても自然の再生能力の範囲内であった。しかし、産業革命以後、人間は地球が封印してきた化石エネルギーを大量に採取し、自然の処理能力を超えた廃棄物を発生させている。そして、社会は、自然再生の循環の破壊（環境問題）と自然災害に脆弱な産業および国民生活基盤（防災問題）の構造的問題を抱える事態に陥っている。

この現況を理解するには、産業革命後の人類は、地球誕生以来のいかなる生物とも違い、自然生態系とは相容れない特別な動物だとの認識が必要である。そして、生態系の復元と循環型社会を目指すには、人間が管理し制御する領域～人工生態系と呼ぶ～と、人間の手が全く入らない自然生態系とを分けて考えなければならない。人間の関与した人工生態系は、大きく改変されおり、この生態系を復元し循環型とする必要があるからである。

現在での土木は、産業の発展を支え、生活を豊かにし、利便性を高め自然の猛威から生命・財産を守ることを大命題にしながらも、上意下達により、自然に対する負荷を計量することなく極めて短期間に実施されてきた。

このように、土木にかかわる公共哲学・公共理念の欠如に端を発し、社会は自然再生の循環の破壊（環境問題）と自然災害に脆弱な産業および国民生活基盤（防災問題）の構造的問題を抱える事態に陥っている。このため、「自然生態系の復元と人工生態系の循環をベースとした持続可能社会」の確立と「地域の特性に合い、かつ公共性が担保された安全・安心社会」の成立を目標と

し、産・官・学に係らず土木の技術者は共通した理念のもとで互いに連携し、これらの目標達成に向けた施策を展開する必要がある。

図4. 1に、社会の構造的問題を解決し、目標を達成するための土木分野としての施策について、参考文献6)を参考に、「新しい土木の地平の展開に向けたロードマップ」を提案する。施策はそれぞれの問題点に対応して実施するが、公共哲学・理念の欠如という本質的問題に対する施策は、これから派生した環境問題および防災問題の解決にもつながる重要な施策である。

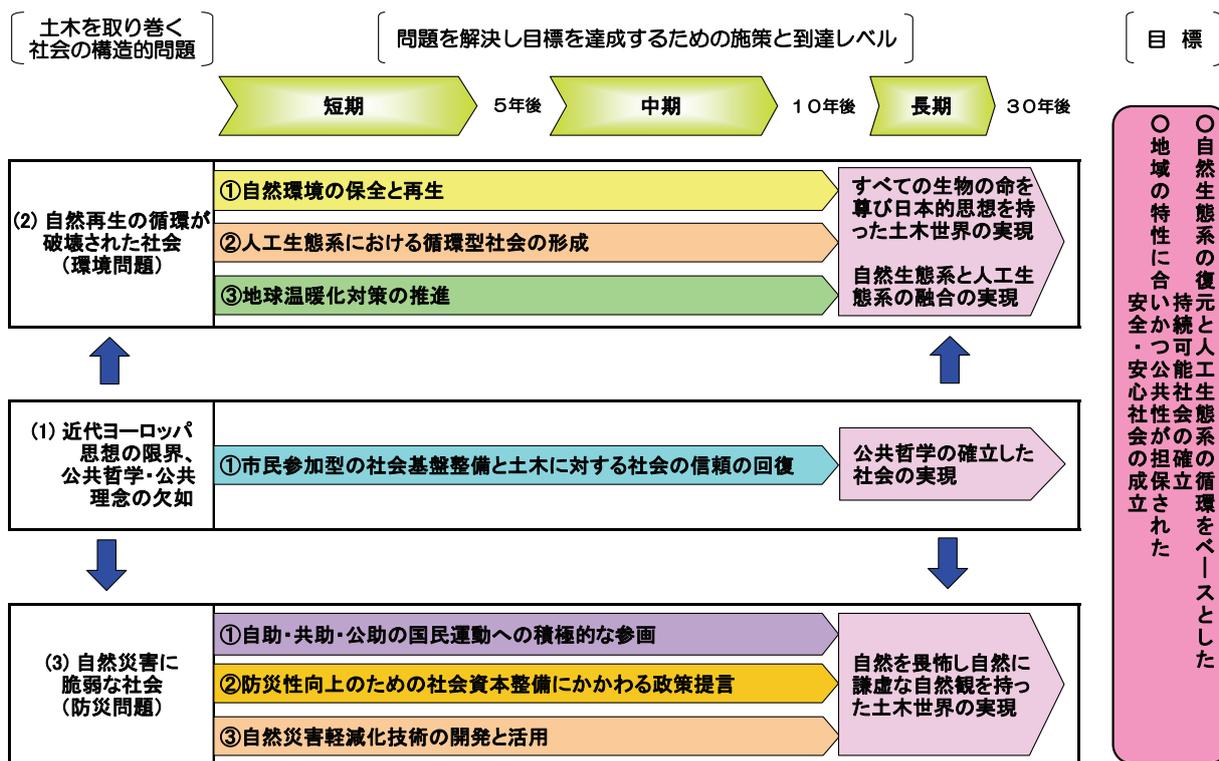


図4. 1 新しい土木の地平の展開に向けたロードマップ

以下、図に示した問題点ごとの施策について述べる。

(1) “土木にかかわる公共哲学・公共理念の欠如”の問題に対する施策

公共工事の入札や執行などに起因した土木と土木技術者への社会の批判が高じている現状を打開するために、公および民がともに公共に関する議論を進め、公共の理念と原理を共有することで、国民に受け入れられる社会基盤整備を進めなければならない。

そのための施策として、社会資本が国民生活、国と地域の経済、自然環境にもたらす効果や影響を分析し、客観的にわかりやすく説明すること、さらに社会資本整備の計画・実行過程の透明性を高めるシステムと地域や住民の意見を十分に反映できるような市民参加型の社会基盤整備に向けた社会システムについて提言し、これらを構築することが必要である。これによって、土木に対する社会の信頼回復を実現し、長期的には公共哲学の確立した社会の実現を目指すことである。

(2) “自然再生の循環が破壊された社会”の問題に対する施策

わが国では、高度成長時代に比べて都市と地域の環境の改善の傾向はみられるものの、土壌・水質の汚染問題、廃棄物問題、地球温暖化の問題などの諸問題が未解決の課題として残されている。このような環境問題を解決するための施策として、①自然環境の保全と再生、②人工生態系における循環型社会の形成、③地球温暖化対策の推進の3項目を挙げた。

まず、“①自然環境の保全と再生”では、土壌・水質環境の修復技術・有害物質除去技術の開発、社会基盤施設の建設・維持管理における環境負荷低減技術の開発を行う。次に、“②人工生態系における循環型社会の形成”では、水循環系及び物質循環系の実態把握と健全性の評価手法の開発、安全・安心で経済的なリサイクル材料の開発を行う。さらに、“③地球温暖化対策の推進”では、温室効果ガスの発生抑制と固定化と封じ込め技術を開発する。

これらの項目の実施により、人工生態系は循環型の生態系へと進化し、自然生態系との融合が実現する。このことで、人類は、「地球誕生以来のいかなる生物とも違い、自然生態系とは相容れない特別な動物」ではなくなり、自然との共存が可能となる。

(3) “自然災害に脆弱な社会”の問題に対する施策

地球の温暖化、森林の喪失、砂漠化の進行などが集中豪雨、異常降雨、巨大台風・ハリケーンの発生など新たな災害発生の可能性を増大させている。また、都市の過密化、地方の過疎化、少子高齢化などが社会の災害に対する脆弱性を増大させている。将来の自然災害に対して国民の生命と財産を守り、安全・安心な社会を構築することは土木に課せられた責務である。土木にかかわる我々は自然災害軽減のために自助・共助・公助の国民運動の輪の中に積極的に参画するとともに、市民生活、経済・産業活動を支える道路・鉄道・空港・港湾、ライフライン、通信インフラなどの社会基盤の重要施設を自然災害から守るための防災・減災技術を提供し、防災性の高い社会の構築に貢献しなければならない。

このような防災問題を解決するための施策として①自助・共助・公助の国民運動への積極的な参画”、“②防災性向上のための社会資本整備にかかわる政策提言”、“③自然災害軽減化技術の開発と活用”の3項目を挙げた。

まず、“①自助・共助・公助の国民運動への積極的な参画”では、市民のための防災教育の実施、地域の防災計画立案への支援、企業の事業継続計画（BCP）立案への支援を行う。次に、“②防災性向上のための社会資本整備にかかわる政策提言”では、自然災害に強い国土構造のあり方、法令・制度などに関する提言と計画立案・施行・推進、防災性に優れた社会基盤整備の計画立案を行う。さらに、“③自然災害軽減化技術の開発と活用”では、道路や河川などの社会資本や民間の施設や建物についての防災・減災技術の開発、水害、地滑りなどの自然災害危険地帯の観測・予測技術の開発を行う。

以上述べたように、土木技術者が、公共哲学を確立し、自然を畏怖し、自然に謙虚な日本的な

自然観を持ち、土木事業が公共性を担保するしくみ、公共の考え方を浸透させるしくみ、民との合意形成のためのコミュニケーションの方法を、循環型社会構築のための技術開発やそれに関連する活動を推進することで、人類の福祉・幸福に貢献する土木技術者が活躍する土木の新たな地平が開けることとなる。

4. 5 新しい土木の展開への決意と施策の実施^{1), 2), 3), 4)}

著者は、第3章、第4章を通じ以下のことを述べてきた。

(1)社会資本整備を担う土木事業は、それゆえ公共性の強い行為、あるいは公共そのものであり、産業の発展を支え、生活を豊かにし、利便性を高め自然の猛威から生命・財産を守ることを大命題とする。このような事業に携わる土木技術者は、高い倫理観と土木技術者としての良心を兼ね備えた存在でなければならない。さらに、技術（特に土木技術）は自然の法則の中から生まれてきたものであり、自然を完全には制御できない未熟な技術をもって、あたかも自然を制したかのような傲慢な対応をすることは決してしてはならない。土木技術者には特段の自然に対する謙虚さが求められる。

(2)日本には、古来より、すべての生命を尊び、自然を畏怖し、自然との折り合いを大切にす謙虚な自然観がある。地球に課せられた大きな課題である、自然災害の軽減や地球環境負荷の軽減という問題への取り組みは、このような自然と共生する日本人的思想を背景に持ちつつ、公共の視点を持った土木技術者の責務であり、また土木技術者にしか、成し得ない使命である。地球の再生は、土木技術者こそが成し得ることであり、これこそがシビルエンジニアリング（Civil Engineering）の使命と言えるのである。

(3)それゆえ、これからの土木技術者は、自然は支配するものとする西欧的自然観を排し、自然との折り合いを大切にす日本人の自然観と土木技術者としての良心を持ち、自然生態系の復元と人工生態系の循環をベースとした持続可能社会の確立、地域の特性に合いかつ公共性が担保された安全・安心社会の確立に向けた社会資本整備に貢献しなければならないのである。

そして、著者は、建設業という企業の経営を委託された当初から、これまで論述してきた考え方を実践すべく、今後の建設業の新しい形を作り上げるため、企業の施策を推進してきた。すなわち、土木の原点は、自然との共生のなかで、人々の暮らしや命を守るという、社会資本整備、いわゆる公共そのものであり、このような立場で、自然災害問題、地球環境問題への取り組みは避けては通れない重要課題であると強く認識した。そして、自然災害軽減技術、環境負荷低減技術の開発の2つの柱とそれによる社会貢献を経営目標の第一として、企業の経営にあたった。☒

4. 2はこの考え方を整理したもので、これを実現する真の意味の技術者集団を目指した。

次章には、著者が企業の施策として企画し取り組んだ技術開発のうちいくつかについて具体的に述べる。

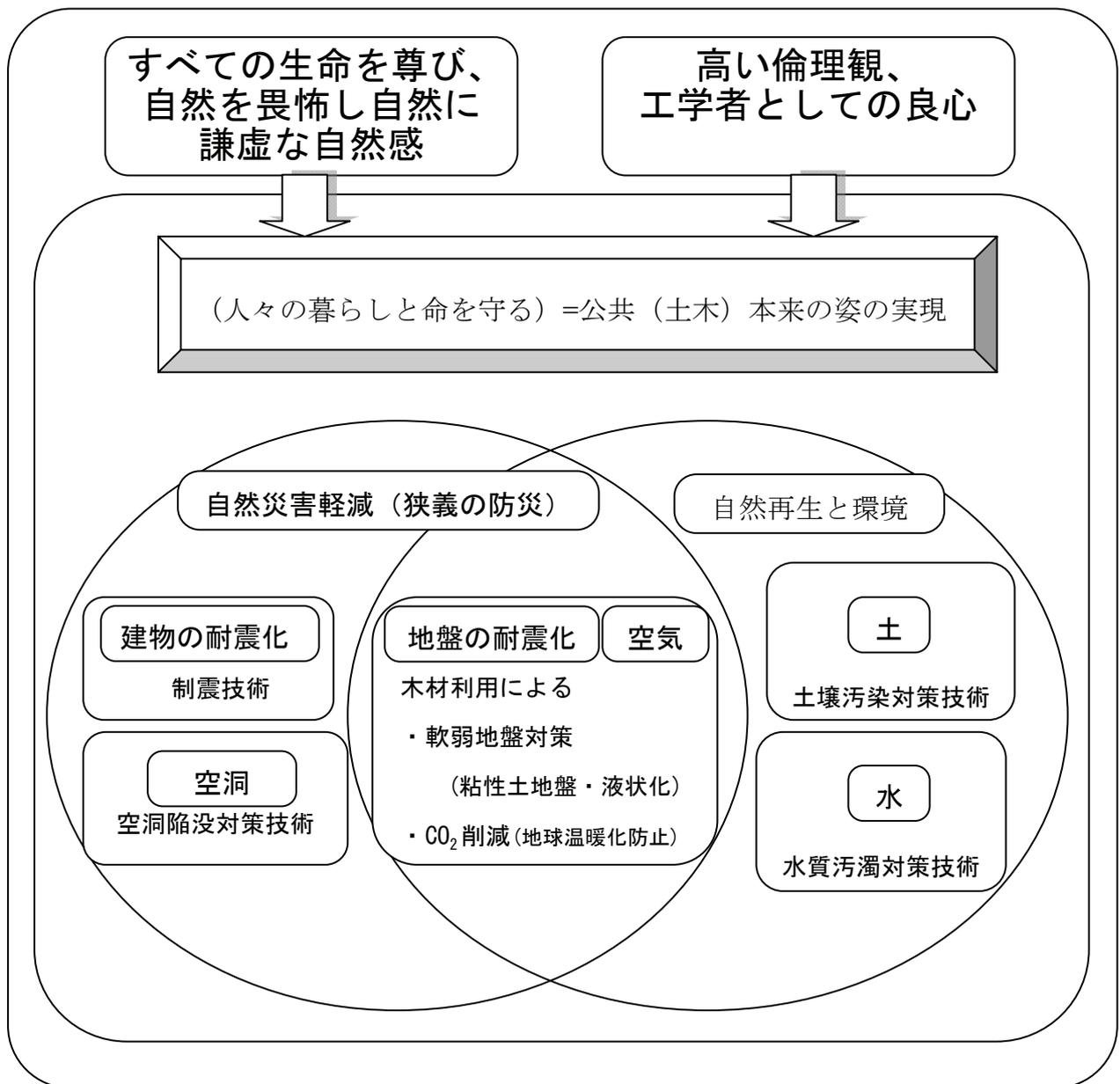


図4. 2 新しい土木に向けての取り組み

第4章の参考文献

- 1) 富松義晴：自然環境再生への土木技術者の役割—土木分野における木材利用のすすめ—（特別講演論文），木材利用研究論文報告集 10，土木学会木材工学特別委員会，pp.1-4，2011.8.
- 2) 富松義晴，沼田淳紀，濱田政則，三輪滋：土木事業における木材利用による地球温暖化防止および林業再生への貢献，土木学会第 19 回地球環境シンポジウム講演集，pp.51-56，2011.9.
- 3) 富松義晴，沼田淳紀，三輪 滋，濱田政則：土木技術者の役割の再考と木材利用の提案，土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集，共通セッション，pp.31-32，2011.9.

- 4) 富松義晴, 三輪滋, 濱田政則: 社会史より見た土木の検証と新たな展開, 土木学会論文集 F5(土木技術者実践), Vol.68, No.2, pp.63-73, 2012.11.
- 5) 山脇直司: 公共哲学とは何か, ちくま新書, pp.20-21, 238pp. , 2004.
- 6) 土木学会: 平成 18 年度土木学会会長特別委員会報告書 -土木の未来・土木技術者の役割-, pp.3-7, 2007.3.

第5章 土木再生に向けた安全・安心社会構築のための技術開発

5.1 自然災害軽減と地球環境負荷低減のための技術開発

1962年(昭和37年)に地域間の所得格差是正を目標として計画された拠点開発構想は、地方に工業開発拠点と集約都市を造ることであった。さらに、1969年(昭和44年)には新しい国土を構築するとの理念のもと、大規模開発プロジェクトが構想され広大な用地の造成や、交通ネットワークの整備が集中的に行われた。この高度成長期に土木業界は大量の自然界の木材、骨材、砂、土などを無分別に採取し、化石エネルギーにより作られた材料を大量に使用してきた。このころの拙速な経済成長が公害と環境破壊の始まりであり、経済性、合理性、効率性、安全性を求めて技術開発を行い高度経済成長に寄与した土木技術者には、この問題を正面から受け止め解決する責任がある。

2011年3月11日の東日本大震災は、日本に非常に深刻な影響をもたらした。もとより日本は、4つのプレートが重なり合い、世界のマグニチュード6以上の地震の20%以上が発生するという地震が多発する環境にある。震災の復興は急務であるが、首都圏直下の地震や東海・東南海・南海地震は切迫しており、その備えも急務である。また、急峻な地形は、近年の短時間集中豪雨の増加で風水害、土砂災害の多発が懸念される。このように日本は世界でもまれにみる自然環境が厳しい国土を持ち、自然災害軽減のための社会資本整備は、いまだ十分とは言えず引き続き対処していく必要がある。

第4章で述べたように、自然と向き合い、自然の中に高い品質の構造物を造ってきた土木技術者こそ、自ら手を下した自然破壊を修復し、人工生態系を循環させる、また安全安心な社会を築くオペレーターでなければならない¹⁾。自然との折り合いを大切にする自然観と工学者としての良心を持ち、公共の視点で取り組めるのは、われわれ土木技術者であり、またそれが社会に対する責務でもあるからである¹⁾。

さらに、土木技術者は個々の要素技術がその影響する空間でどのように作用し、さらに上位の空間での影響についての洞察を持って、新しい技術開発を行う事が肝要である。

著者は、2001年(平成13年)、建設業という企業の経営を任された。自然災害の軽減、地球環境の修復・保全による持続可能社会の確立、および、安心安全な社会の構築の必要性を強く意識し、今後の建設業の新しい形を作り上げるため、自然災害軽減技術、環境負荷低減技術の開発とそれによる社会貢献を経営目標の第一に掲げ、企業の施策として推進した。ここでいう地球環境問題は自然災害軽減分野、地球環境負荷低減分野の両者を含んだ言葉として示している。

これらの課題に対して、先陣を切って土木技術者が取り組む方向を示すことを考え、土木本来の姿である公共の視点で、人々の暮らしと命を守る取り組みを進めた¹⁾。

図5.1に、この施策の基本事項とその実現のために実施した主な技術開発の項目の位置付け

を示す。地球規模の視点で自然災害軽減、地球環境負荷低減を捉え、その主要な要素として、自然災害軽減に関しては、建物・地盤・空洞を、環境に関しては大気・土・水を挙げた。

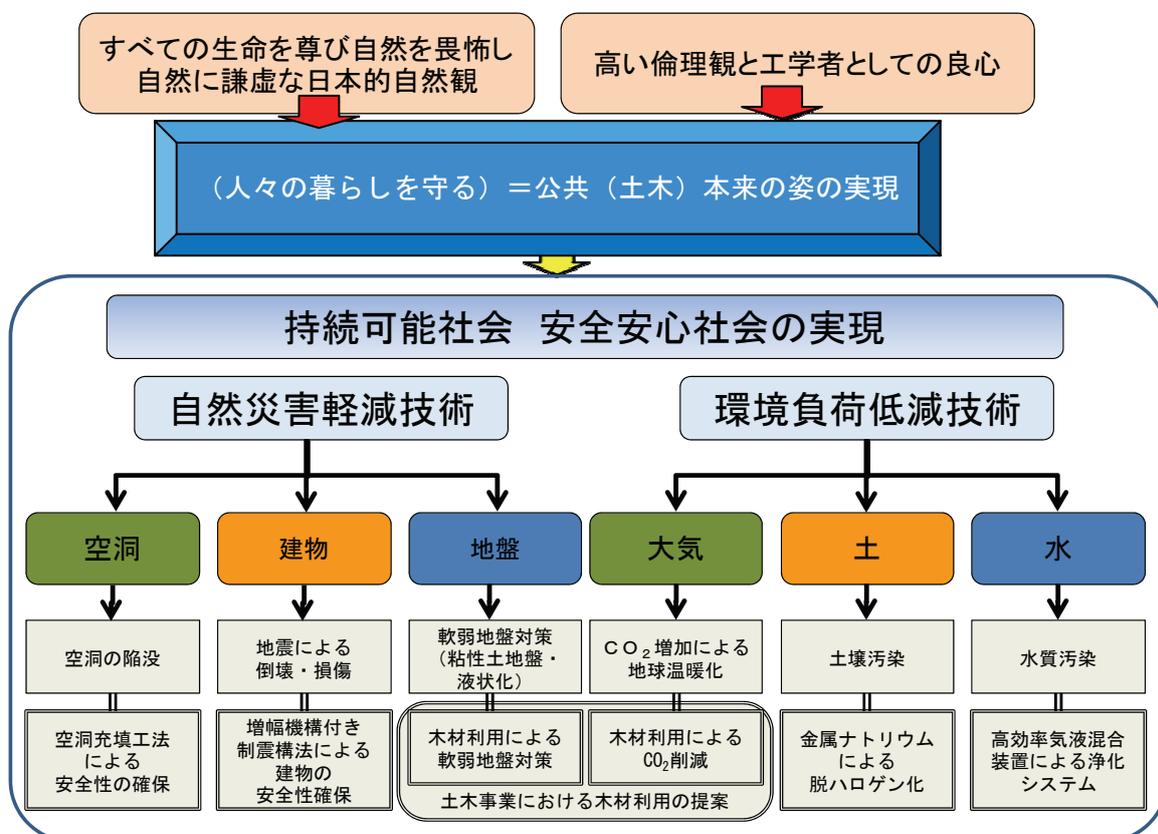


図5. 1 公共と土木の未来のための自然災害軽減・地球環境負荷低減技術への挑戦

自然災害軽減に関する建物・地盤・空洞については、建物に地震による損傷・倒壊、液状化、空洞の陥没を解決すべき課題として挙げ、それぞれ、制震構法による安全性確保、木材利用による軟弱地盤対策・液状化対策、限定充填工法による安全性確保に取り組んだ。また、大気、土、水に対する解決すべき課題として、二酸化炭素の増加による地球温暖化、土壌汚染、水質汚染を挙げ、それぞれ、土木事業における木材利用の提案、金属ナトリウムによる脱ハロゲン化技術、高効率気液混合装置による浄化システムを推進した。

増幅機構付き制震構法²⁾は、1981年の建築基準法改正以前に建設された、いわゆる旧耐震の建築物の耐震改修や新設建築物の地震時の安全性確保、機能維持の要求が高まる中、増幅機構を持たせた合理的な性能をもつ制震装置²⁾によって建物の耐震安全性に加え、地震後の機能の確保を目標とした構法である。空洞充填工法は、全国に数多く分布する亜炭廃坑、採石場跡の廃坑などが風化や地震によって崩壊する事例が多いことから、その対策範囲を限定できる充填工法³⁾により空洞の安全性を確保をめざしている。

木材利用による軟弱地盤対策・液状化対策は、木材が石積の基礎、橋梁下部および上部、その

他色々な個所に様々な工夫をしながら使用され、中には、数百年にわたりその機能を維持しているものも多数存在することから、地球温暖化対策と合わせて、化石燃料を大量に使って生成されるコンクリートや鋼材に代わる材料として、古来土木で多く使われていた木材に改めて着目し、土木事業での木材利用の拡大を提案するものである^{4),5),6),7),8)}。

金属ナトリウムによる脱ハロゲン化技術は、国土の全域にわたっての農薬による汚染、工場跡地の汚染など、我が国の高度経済成長期の後遺症がそのままの状態で見捨てられている土壌汚染のダイオキシンについて、金属ナトリウムの強い還元力によりダイオキシン類の毒性を安定化させようとするもの⁹⁾である。

高効率気液混合装置による水質浄化システムは、酸素、オゾン、炭酸ガス、窒素などの気液混合液により水質浄化をはかろうとするもの¹⁰⁾である。

これら5つのテーマに関する取り組みについて、以下に述べる。

5. 2 地震災害を軽減する制震構法の開発と普及

(1) 地震災害の発生の危険性と建物の地震対策の現状

東北地方太平洋沖地震は、甚大な災害をもたらしたが、中央防災会議による被害想定では、東日本大震災をはるかに凌ぐ数値が予想されている、首都圏直下の地震や東海・東南海・南海地震の今後30年以内に発生する確率が50%を超え、いつ発生してもおかしくない状況にあることを警告している。一方で、旧耐震の建物は、また多く存在し、庁舎、学校、病院と言った公共建物においても、その耐震改修は十分には進んでいないのが現状である。

建物の耐震対策を考える場合、大きく分けて図5. 2に示すように、揺れに強固に耐える従来からの耐震構法、揺れを免れる免震構法、揺れを制する制震構法の3つの方法がある。耐震構法は、文字通り、柱や壁の頑強な構造部材で建物全体を支えるもので、耐力を高めたり、靱性を高めることで耐震性能を満足させる。いわゆる在来構法であるため設計上の法的な制約が少なく、低層建物の場合には安価である場合が多い。一方で、構造によって地震に耐えるため、建物の応答加速度は大きくなり、建物自体の構造安全性は保たれるものの、内部の備品の転倒や損傷の可能性が大きく、室内安全性の確保には課題があると考えられる。また、あるレベル以上の、地震動に対しては、特定部位の損傷によってエネルギーを吸収することになるので、地震後の補修や補強が必要になったり、場合によっては補修が不可能な場合も生じる。

免震構法は、建物の下、あるいは中間層に設置した免震装置で、建物を長周期化し、エネルギー吸収を行うことで、建物の揺れを低減する。応答加速度は大幅に低減され、建物は、ゆっくり揺れるので、建物内部の損傷は非常に小さくなるのが期待できる。一方、コスト的には高価であり、変形が大きくなることから、周囲に十分な変位を許容できるスペースも必要とされる。軟弱地盤など、周期の長い揺れが卓越する場合は不向きとされ、長周期地震動の長時間の卓越が懸

念される関東平野のような大規模な盆地構造のところでは、免震装置の周期との共振によって、変位が許容値を超えるリスクも懸念されている。

制震構法は、性能・コストともにこれらの構法の中間的な位置づけと考えられる。建物に設置した制震装置によって地震動のエネルギーを吸収するので、免震構法に比べれば効果は小さいものの、建物に加わるエネルギーは大きく低減できる。制震装置には、さまざまな種類があり、エネルギー吸収や配置の考え方で、性能やコストに影響を及ぼす。このようにエネルギー吸収の考え方で、効果の高い構法が確立できると可能性が高く、著者らは、この可能性に着目した。

以下では、著者が建設業経営者の立場で経営上の重点施策として企画、推進した制震構法による建物の耐震対策技術の開発、増幅機構付き制震構法²⁾の開発について述べる。

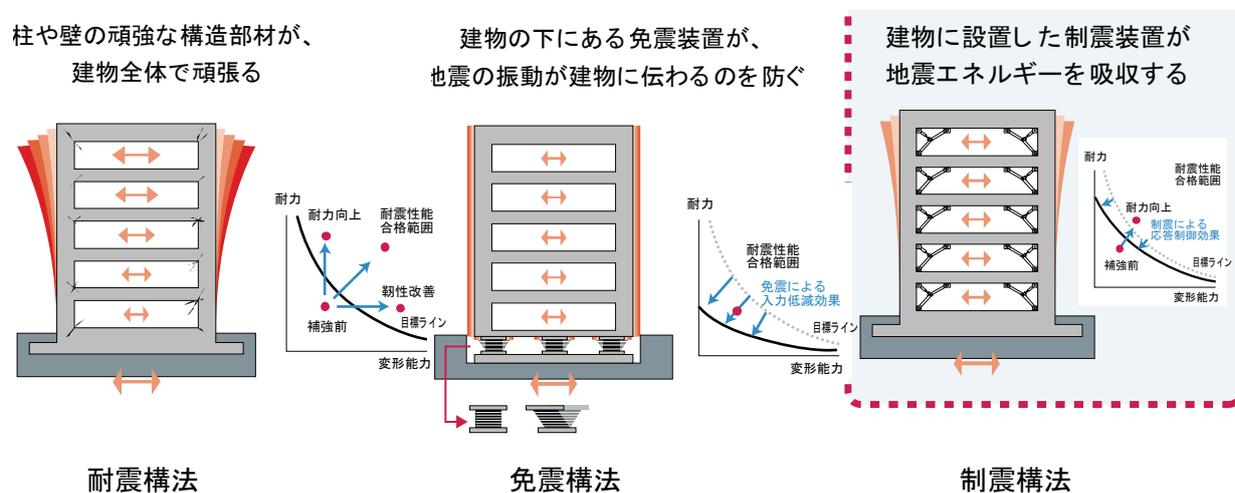


図5. 2 耐震構法の分類

(2) 増幅機構付き制震構法の開発

著者は、コストを抑えつつ性能の高い制震構法の開発を目標とした。その結果、開発された構法が、増幅機構付き制震構法「トグル制震構法」である²⁾。構法の目指した性能とコストの位置づけを、図5. 3に示す。トグル制震装置の仕組みを図5. 4に示す。この構法は、“てこ”の原理を応用して、二本の腕と油圧ダンパーから構成されるトグル機構により、地震時に建築物に生じる層間変形を2~3倍に増幅して制震装置のダンパーに伝え、地震エネルギーを効率よく吸収する構法である。右上の図のように、フレーム架構の部分での1cmの変形は、てこの原理でダンパーの部分で3cmの変形に増幅され、効果的なエネルギー吸収ができることになる。図5. 5に示すように、この増幅機構によって、架構の変形が、エネルギーを吸収するダンパーに伝わる効率を、ほかの制震構造に比べ大きく改善した。このことで、装置の配置を減らすことが可能となり、かつダンパーそのもののコンパクト化も実現した。小さなブレース断面で効率良く地震エネルギーを吸収できること、制震装置の配置に制約がないこと、既存躯体との接合に接着工法が採用でき

ることなどから、耐震改修にも有効な構法である。トグル制震装置の効果を確認する実大自由振動実験の例を図5. 6に示す。振動がいち早く減衰し、その効果が大きいことがわかる。著者は、装置の開発に加え、製品の品質を確保し、安定的に供給できる体制に実現にも尽力した。このような開発の結果、2011年7月末現在で建物数105棟、オイルダンパー供給数約4,300基の施工実績を有している。

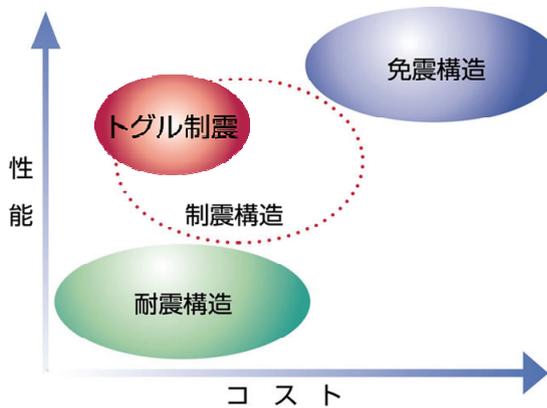


図5. 3 トグル制震構法の位置づけのイメージ

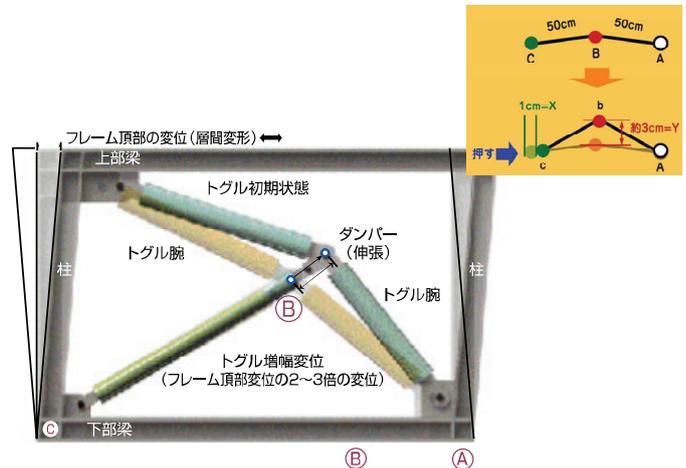


図5. 4 トグル制震装置の仕組み

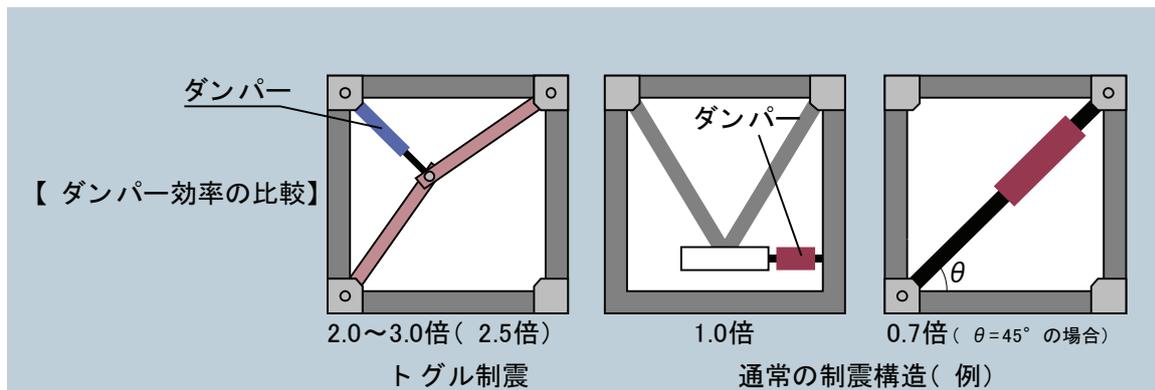


図5. 5 ダンパーの効率の比較

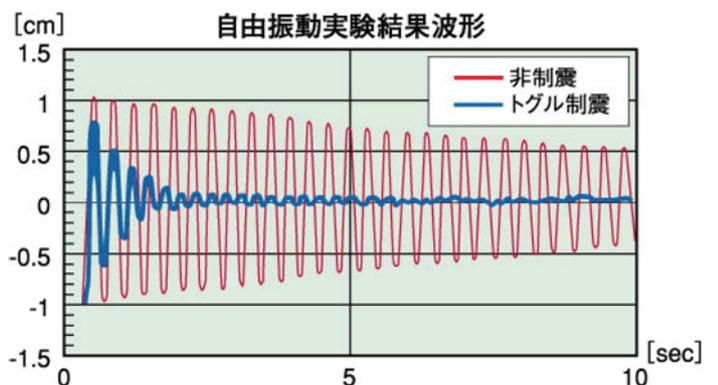


図5. 6 トグル制震装置の効果を示す自由振動実験

(3) 2011年東北地方太平洋沖地震における効果の検証

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震では、震源に近い東北地方のみならず関東地域までの広い範囲で強い揺れが観測された。震源に近い東北6県および震度5弱以上が観測された地域にはトグル制震構法による耐震補強建物が数多く存在することから、この地域にある建物すべてを対象に、建物および制震装置の調査・点検、建物使用者へのヒアリング調査を実施した¹¹⁾。調査対象は37物件で、小・中学校、大学、庁舎、宿泊施設、事務所ビルなど、昭和40年代に竣工した建物が中心で、構造形式は、RC造、SRC造である。建物の位置を図5.7に示す。

全ての建物においてトグル制震装置および取り付け部には不具合がないことを確認した。また、柱、梁などの被害は構造部材には0.2mm以下の補修不要なひび割れが見られた程度であり、補修が必要な被害がないことを確認した。また、建物使用者に対するヒアリング調査からは、周辺の建物に比べて棚やロッカーの転倒が少なかったこと、揺れの大きさが小さかったことなどの貴重な情報が得られた。

次に、地震観測を行っている仙台市役所での効果の検証¹²⁾について述べる。仙台市役所本庁舎は、昭和40年に竣工したいわゆる旧耐震建築物であったが、平成20年にトグル制震構法による耐震補強が完了していたため、一部の非構造部材に補修可能な軽微な被害が発生した程度であった。平成21年10月より地震観測を実施しており、本震時の建物の地震時挙動が観測されている。そこで、観測記録および観測記録を用いた建物の地震応答解析から、東北地方太平洋沖地震におけるトグル制震構法による耐震補強の効果について定量的な検討を行った。

仙台市役所本庁舎は、昭和40年に竣工した鉄骨鉄筋コンクリート造（SRC造）地上8階、棟屋3階、地下2階の建築物である。凝灰岩の支持基盤に直接支持されている。新耐震設計法以前の耐震基準を用いて設計されていることから、耐震診断を行った結果、構造耐震指標（Is値）が0.6以下であり耐震補強が必要と判断された。そのため、耐震性能を新耐震設計法と同等とされるIs=0.6以上に引き上げることを目標として、平成20年にトグル制震構法を用いた耐震補強を実施している。耐震補強では、新耐震設計法の理念である「耐用年数中に一度あるかないかの大規模な地震動（レベル2地震）に対しても、最低限人命に危害を及ぼす倒壊をしないこと」を目標に、層間変形を1/150以下とするような設計クライテリアを設定し、それに基づき長手方向（X方向）に94基、短手方向（Y方向）に88基のトグル制震ブレースを設置している。表5.1に仙台市役所本庁舎の建物概要を、写真5.1に仙台市役所本庁舎の全景を示す。また、表5.2に耐震補強の概要を示す。

耐震補強終了後の平成21年10月より、地上1階と屋上階（PH1階）の2箇所地震計を設置し、地震観測を実施している。図5.8に仙台市役所本庁舎で観測された2011年東北地方太平洋沖地震の加速度波形を示す。地上1階の加速度波形には、二つの振幅が大きい領域が明瞭に見られる。この地震では、震源域内で複数の破壊が連動して発生している。釜江・川辺¹³⁾は宮城県沖

から茨城県沖にかけての5箇所で大きな断層の破壊があったとしており、この二つの振幅の大きい領域は宮城県沖の2か所の断層破壊によるものと考えられる。また、地震動の継続時間が長く、最大加速度が 50cm/s^2 を超える振幅は地上1階では130秒程度、屋上階では150秒程度継続する。最大加速度は、地上階が約 413cm/s^2 、屋上階が 853cm/s^2 であり、いずれも約100秒付近からはじまる二番目の振幅が大きい領域で観測されている。

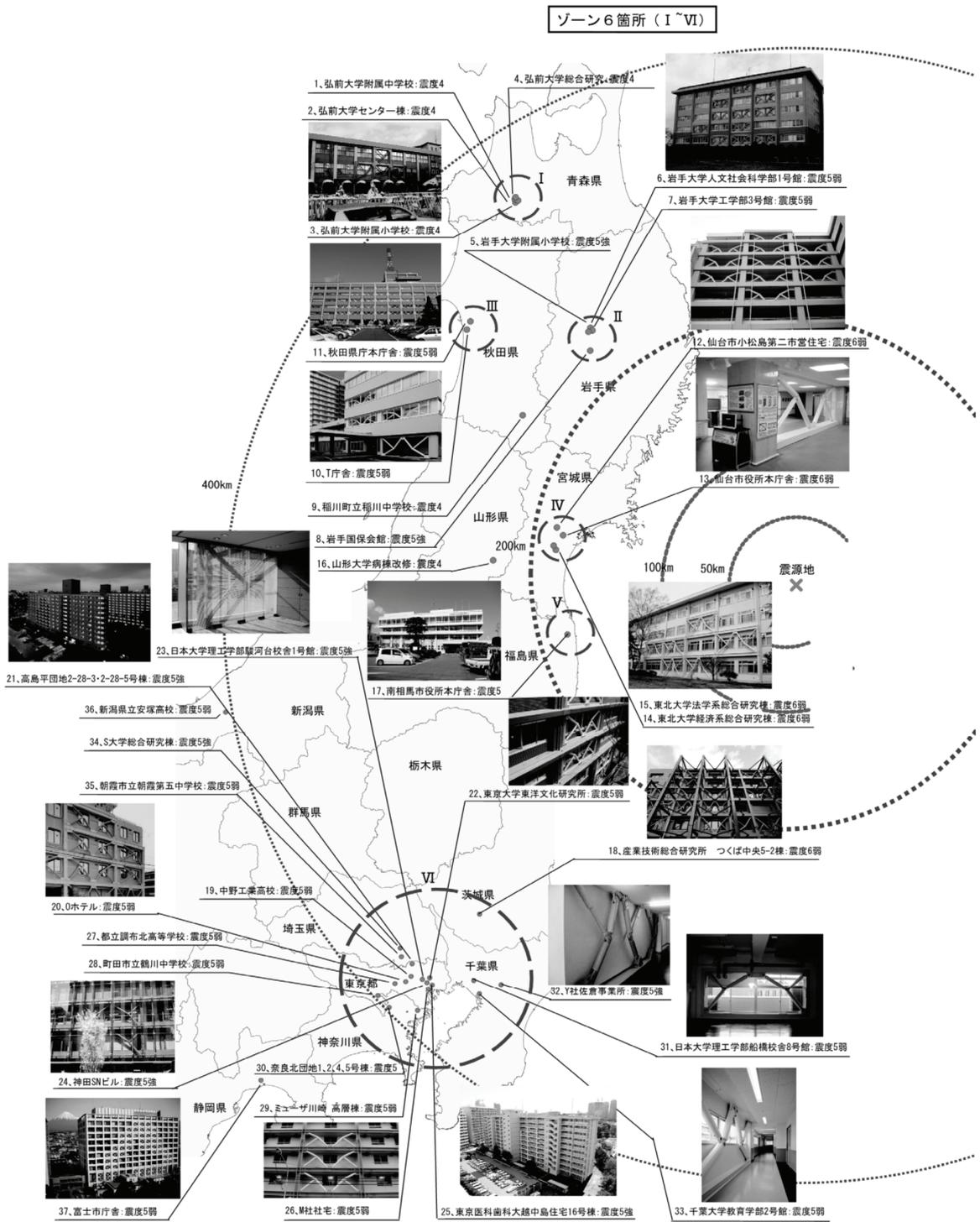


図5. 7 トグル制震構法の効果に関する調査を行った建物の位置¹¹⁾

表 5. 1 仙台市役所本庁舎の建物概要¹²⁾

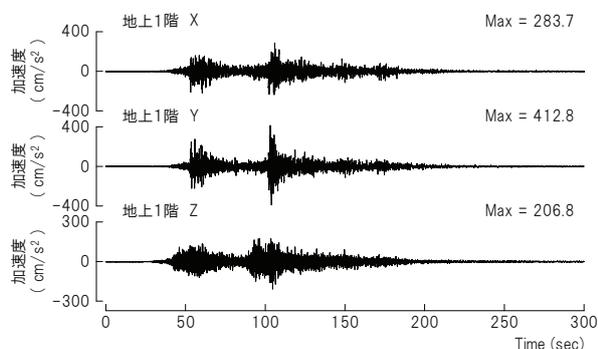
項目	内容
建物名称	仙台市役所本庁舎
延床面積	27,809m ²
規模	地上 8 階，地下 2 階，塔屋 3 階
構造種別	鉄骨鉄筋コンクリート造
構造形式	耐震壁付きラーメン構造
基礎形式	独立基礎（直接基礎）
使用材料	コンクリート：普通（ $F_c=180\text{kg/cm}^2$ ） 異形鉄筋：SD30，丸鋼：SR24，鉄骨：SS41 級



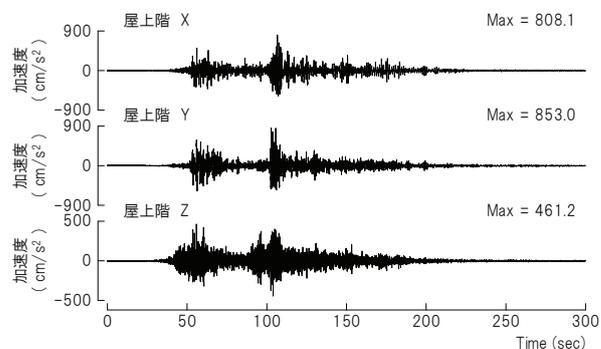
写真 5. 1 仙台市役所本庁舎の全景¹²⁾

表 5. 2 仙台市役所本庁舎の耐震補強¹²⁾

項目	内容
トグル制震ブレース	長手方向（X 方向）：94 基
	短手方向（Y 方向）：88 基
増設補強壁	2 箇所
構造スリット補強	長手方向（X 方向）：12 構面
	短手方向（Y 方向）：8 構面
柱補強	炭素繊維巻：12 箇所



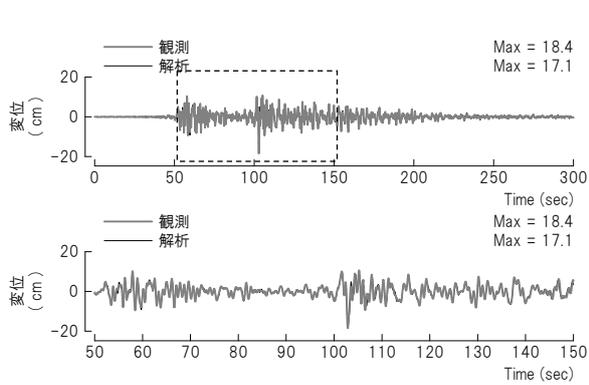
(a) 地上 1 階



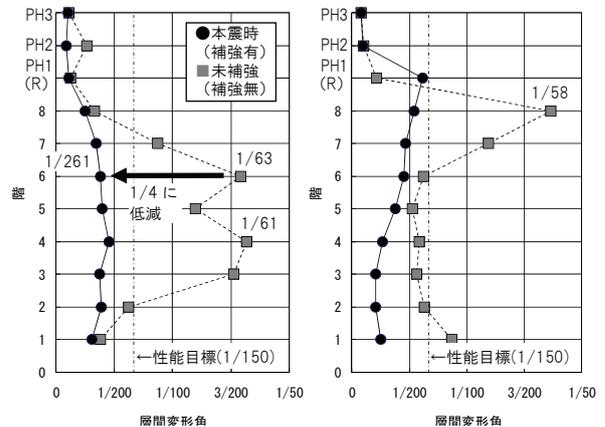
(b) 屋上階

図 5. 8 仙台市役所本庁舎で観測された地震動の加速度の時刻歴波形¹²⁾

耐震補強の性能目標に使用されている層間変形角を指標として、本震時の挙動と、耐震補強を実施しなかった場合（以後、未補強とも表記する）とを比較する。層間変形角を算出するためには、各階の変位波形が必要となるため、1階で観測された地震動を入力し、建物の地震応答解析を行い各階の変位波形を算出する。解析モデルはX方向とY方向で独立させ、強震時の卓越周期が、地震観測記録から得られた建物の強震時の卓越周期と一致するように設定している。地震応答解析の精度については、屋上階の観測変位波形の再現性から確認する。図5.9に観測変位波形と解析変位波形を重ねて示す。観測変位波形は、観測された加速度波形に対して0.1Hz~10Hzのバンドパスフィルターを作用させた後、フーリエ積分により算出した。観測変位波形と解析変位波形は、振幅、位相とも高い精度で一致しており、地震応答解析は観測変位波形を正確に再現できている。このことから、屋上階以外の各階の変位波形も地震応答解析から同様に評価できると考えられる。



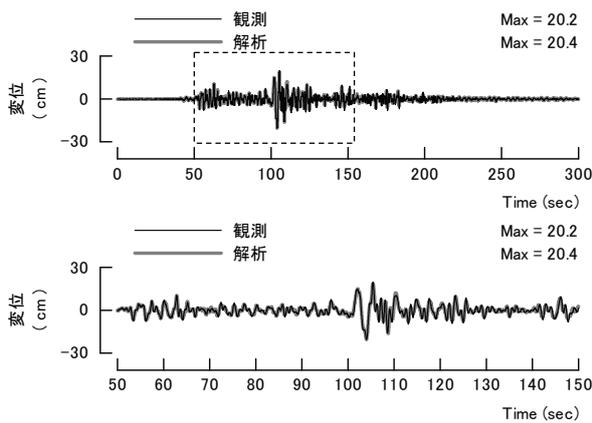
(b) Y 方向（下段は 50-150 秒間の拡大）



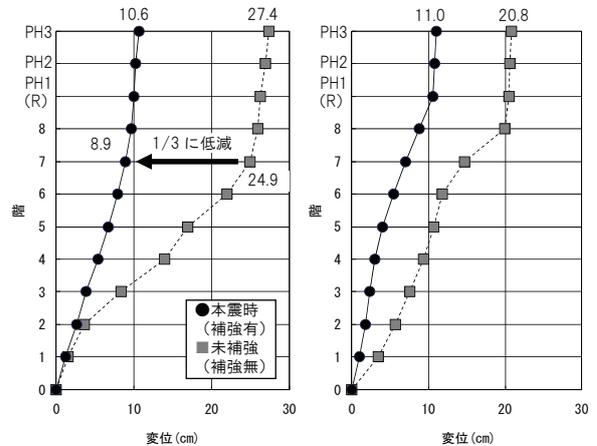
(a) X 方向

(b) Y 方向

図5.10 耐震補強の有無による層間変形角の比較



(b) Y 方向（下段は 50-150 秒間の拡大）



(a) X 方向

(b) Y 方向

図5.11 耐震補強の有無による相対変位の比較¹²⁾

図5.9 屋上階における観測変位波形と解析変位波形の比較¹²⁾

図5. 10に地震応答解析から算出した本震時の層間変形角を未補強の場合とあわせて示す。両方向ともに層間変形角は設計クライテリアの 1/150 以下であり、補強設計の性能目標をクリアしている。未補強の場合は、複数の階で設計クライテリアの 1/150 を超え、X 方向で 1/61、Y 方向で 1/58 まで拡大している。このことから、未補強の場合は、建物に大きな被害が発生していた可能性が高い。耐震補強により、建物の層間変形角を最大で 1/4 に低減し、大きな被害を回避したと考えられる。図5. 11に地上 1 階に対する相対変位の分布を示す。耐震補強により相対変位は最大で 1/3 に低減されており、建物全体の変位についても大幅に抑制されたことがわかる。仙台市役所本庁舎から東に約 400m 程度離れた宮城県警察本部の記者クラブ（SRC 造 7 階建の 3 階）では机や椅子の散乱が見られたが¹⁴⁾、仙台市役所本庁舎ではこのような被害は少なかったことから、トグル制震構法による耐震補強の効果があったことが推測される。

以上、東北地方太平洋沖地震における仙台市役所本庁舎の耐震補強の効果に関し、地震観測記録と地震応答解析結果から以下の事項を確認した。

- ①本震時の建物の層間変形角は 1/150 以下であり、補強設計の性能目標をクリアした。
- ②耐震補強により、建物の層間変形角を最大で 1/4、相対変位を最大で 1/3 に低減した。
- ③耐震補強を実施しなかった場合には、建物には大きな被害が発生した可能性が高い。

耐震補強が有効に機能したことにより、仙台市役所本庁舎の被害は軽微であり、室内についても棚・ロッカーの転倒は少なかった。そのため、地震後に約 1,200 名の方に避難場所として利用していただくことができた。また、地震直後から市役所としての機能も継続的に維持され、様々な震後対応を円滑に行うことに大きく寄与したと考えられる。

震度 5 弱以上の地域のトグル制震補強建物の調査とあわせ、2011 年東北地方太平洋沖地震において、トグル制震構法は有効に機能し、地震から建物を守ったことが分かった。今後の大地震においても有効に機能することが十分に期待できる。

(4) 5. 2のまとめ

本節では、旧耐震の建築物の耐震改修や新設建築物の地震時の安全性確保、機能維持の要求が高まる中、建物の耐震安全性に加え、地震後の機能の確保をめざすものとして、増幅機構により合理的にエネルギー吸収を行い、合理的なコストで提供できる制震装置として開発したトグル制震構法の開発や普及の考え方、開発技術の概要、2011 年東北地方太平洋沖地震での効果について示した。トグル制震構法は、建物に入った地震時のエネルギーを吸収することで、建物を守るだけでなく、その内部の機能も維持することを、比較的安価で実現できることを目標として開発し、広く普及を図っている技術である。地震時において、人々の命や暮らしを守ることに少しでも貢献できれば幸いである。

5. 3 地盤の空洞を充填し安全を確保する技術の開発と適用

(1) 全国に広がる空洞の危険性に対応策の現状

わが国には石炭・亜炭鉱山廃坑、金属・非金属鉱山廃坑、戦時中の地下壕跡、地下採石場跡などの地下空洞が至る所に放置されている。これらの空洞は、掘削による土かぶり厚の減少、盛土による載荷荷重の増加などの地表面の改変、地下水位の低下、空洞の劣化・老朽化、さらには地震や水害、土砂災害などの外力の影響が原因で、空洞内部に崩壊が発生し、地表面が陥没または沈下する可能性がある。そこに構造物があれば甚大な被害を受けるだけでなく、ときには人命に重大な危害を与える大惨事に発展する可能性をはらんでいる。また、空洞が形成された直後に陥没や沈下が生じるだけでなく、長い年月を経過した後にも発生し、さらに発生の兆候をとらえるのも難しいのが現状である。

地下空洞のうち、石炭・亜炭鉱山、金属鉱山および非金属鉱山は、かつて国の基幹産業を支える鉱物資源の源泉として、通商産業省（現在の経済産業省）の所管で指導および保護され、日本の近代化に大きく貢献してきた。しかし、1960年代以降、エネルギー源の石油への移行や海外資源への移行から、鉱業は衰退の一途をたどり、あとには十分な手当てのなされていない廃坑が数多く残された。特に、亜炭は炭化度が低いものの、比較的地表から浅い所に分布しているため、戦前から戦後にかけて各地で盛んに採掘されたが、採掘を終えて数十年を経た今日でも、地表面の陥没・沈下や構造物の被害（鉱害）が頻発している。さらに、2003年宮城県北部地震、2011年東北地方太平洋沖地震で亜炭廃坑の陥没とそれに伴う地表の構造物の被害が報告¹⁵⁾、¹⁶⁾、¹⁷⁾されている。東海・東南海・南海連動型地震のような海溝型地震や内陸活断層の地震の発生の逼迫が指摘されるなか、これらの地震の影響で残柱や坑道天盤が広範囲にわたって大崩壊を起こし、人命や財産に重大な損失を与えることが懸念されている。このほか、地下採石場跡、地下壕跡も各地に存在し、大規模な陥没が発生している。このような空洞被害を予防する目的で、東海地方を中心に空洞充填工法による対策工事が施工されているが、対策は十分進んでいるとは言い難い。

著者は建設業経営者の立場から防災技術の開発を推進してきたが、近い将来に発生することが予想される東海・東南海地震やその他の地震の被害を軽減させるため、空洞充填工法³⁾を安全・安心社会の構築に欠かすことのできない重要な技術の1つと位置付け、経営者の立場で開発と普及に努めた。ここでは空洞の安定性に関する所見を述べ、次いで空洞充填工法の技術一般を紹介し、その応用技術である限定充填工法の開発について述べる。

(2) 地下空洞の分布と空洞の崩壊による地表の陥没と沈下の被害

愛知、岐阜、三重の東海三県には、亜炭が地下広く埋蔵されており、江戸時代から1970年代まで燃料に用いるために盛んに掘削された。東海地方では亜炭廃坑の総面積は約3,000ヘクタール、採掘量は昭和に入ってからだけでも約1,800万トン、容積にすると約1,500万m³にも及ぶといわ

れている¹⁸⁾。図5. 12に東海地方における亜炭田の分布図¹⁸⁾を示す。

図5. 13には、亜炭廃坑などによる陥没や沈下などの鉱害発生件数の近年の推移¹⁸⁾を示す。このように、すでに採掘を終えて40年近くになるろうとしているなかで年々減少の傾向がみえるとはいえ、今なお被害発生が絶えないのが現状である。亜炭の採掘は当時、名古屋市およびその近郊のような人口密集地帯を避けて採掘された。しかし、戦後の都市化の波が周辺に拡大し、これまで陥没や沈下が発生しても問題にならなかった田畑や山地のような土地も市街化とともに生活圏に入り、住民の生命や施設に危害が出るようになり、社会問題になっている。

地下空洞を支える壁、柱あるいは天盤などの部位は、侵入した地下水の水位変動による劣化の進行や長期作用荷重によるクリープによって自然に崩壊が進行し、その影響が上部地盤に空隙やゆるみとなって伝播して、地表面に突然陥没や沈下となって現れる。写真5. 2および写真5. 3に残柱式で採掘された亜炭廃坑の内部状況を示す。写真5. 4は亜炭廃坑の自然崩壊による陥没で民家および道路などに重大な被害が発生した事例である。

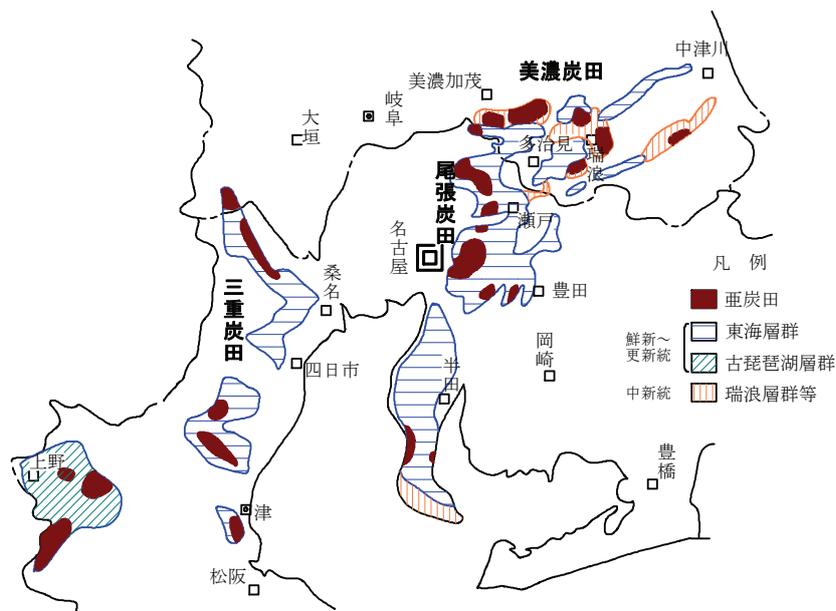


図5. 12 東海地方の亜炭田分布図¹⁸⁾

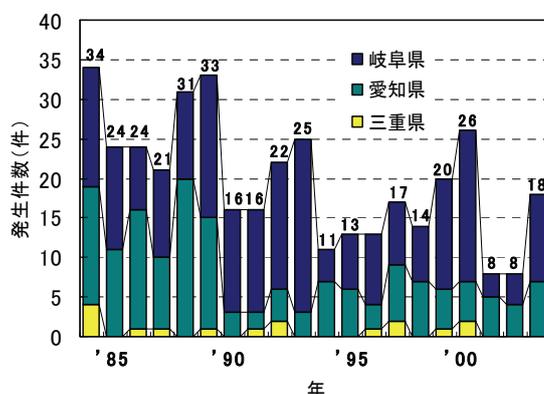


図5. 13 東海地方における亜炭鉱害発生の推移¹⁸⁾



写真 5. 2 垂炭廃坑内部の坑道とぼた
(岐阜県御嵩町)



写真 5. 3 垂炭廃坑内部の残柱
(岐阜県御嵩町)



写真 5. 4 垂炭廃坑による陥没
(岐阜県御嵩町, 2010年10月)

また、将来東海地方に大きな被害を発生させると想定される東海地震および東南海地震の襲来が予想されており、これらの大地震が発生した場合、垂炭廃坑が残る地域では残柱や坑道天盤が広範囲にわたって崩壊する甚大な被害が発生すると考えられる。

濱田ら¹⁹⁾は垂炭廃坑が広く存在する岐阜県御嵩町の地盤を対象に、既往のボーリング資料（ボーリング総本数 431 本）、古洞連絡図（旧通産省鉱山局作製による垂炭廃坑の位置を地図上に示した図）、坑口跡図、浅所陥没位置図、鉱害復旧図、水道管路図、下水道管路図などの資料を収集、データベース化し、町主要部を 50m メッシュに区画分けし、区画ごとに空洞の有無と深さを割り当て、最浅空洞深さが 15m 以浅、15～30m、30m 以深、空洞がない地域、ボーリングなどの資料が不足しているために判定不能な地域として、それぞれ A Zone、B Zone、C Zone、D Zone、E Zone としたマップを作成した。これを、図 5. 14 に示す¹⁹⁾。A Zone は既往の陥没事例からも最も危険度の高いとされている地域であるが、その総面積は約 200 万 m² で、御嵩町の市街地の面積約 520 万 m² の約 40% に達しており、小・中学校、町役場、病院などの町の主要建物の大半がこの危険度の高い地域に存在していることがわかる¹⁹⁾。さらに濱田ら²⁰⁾は、この地域について、想定東海地震と想定東南海地震が連動する複合型東海地震（M_w = 8.3）が発生した場合の空洞地盤の危険度の解析的検討を行った。図 5. 15 はボーリング調査結果をもとに設定した地盤の解析モデ

ル²⁰⁾である。図5. 16に解析結果の一例として役場が立地する地盤における最大加速度とせん断応力の深度分布図²⁰⁾を示す。解析の結果、空洞が存在することで地表面の加速度などの応答値や震度が大きくなること、空洞内の残柱が劣化により強度低下していると地震動により残柱が破壊する危険性が高くなること、これにより建物は大きな損傷を受ける可能性があることがわかった²⁰⁾。

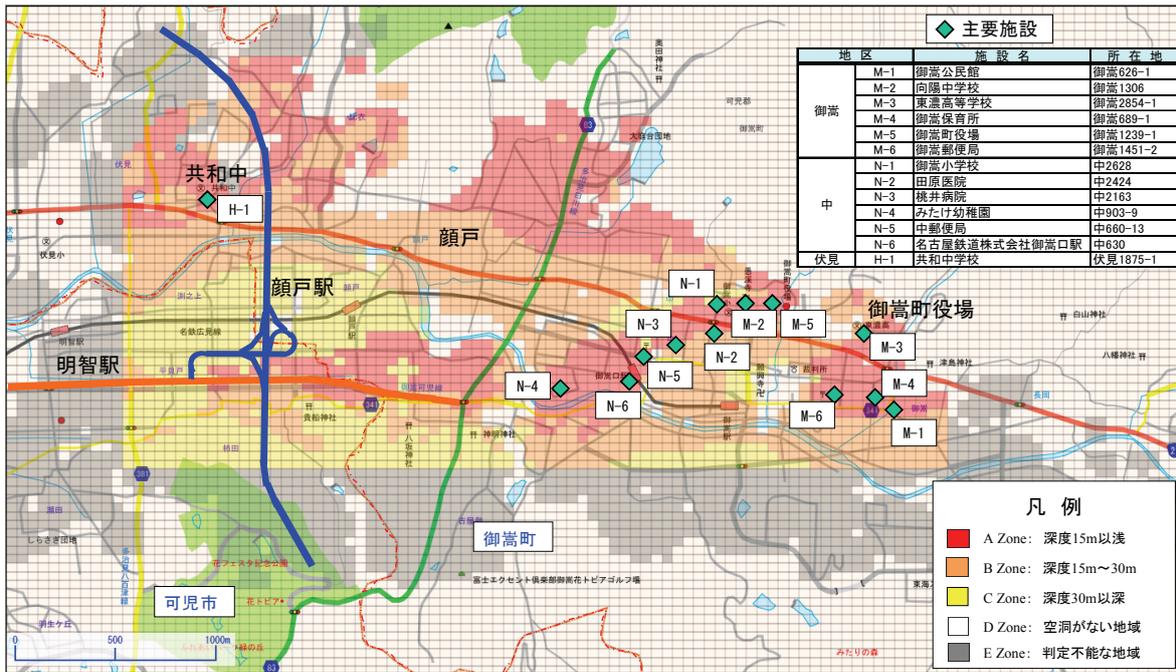


図5. 14 御嵩町の垂炭廃坑の分布と最浅深度の分類¹⁹⁾

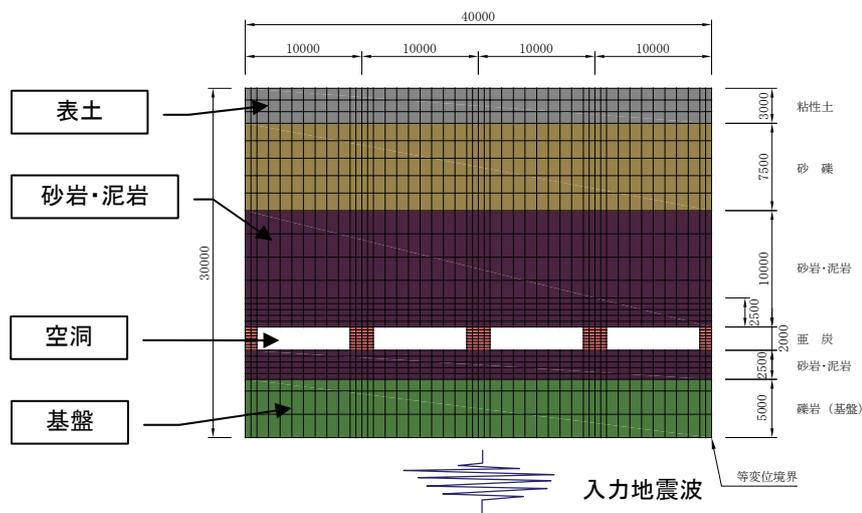


図5. 15 地盤の解析モデル²⁰⁾

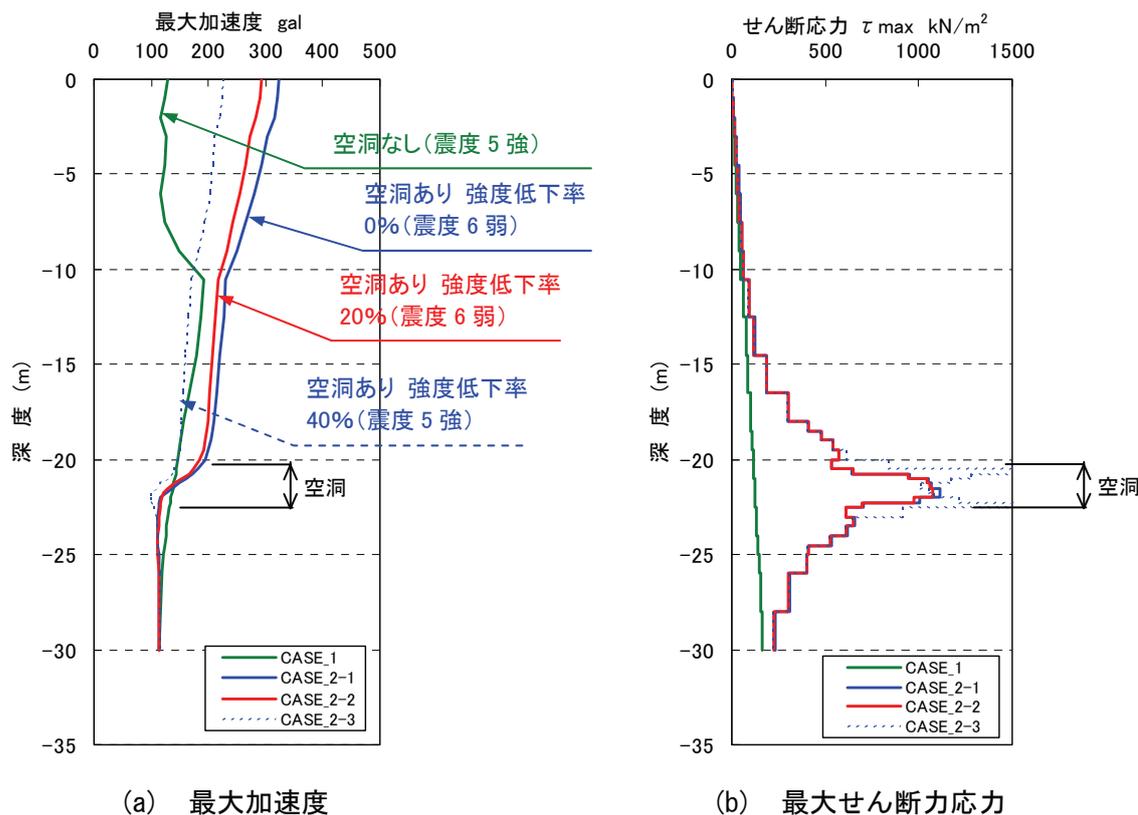
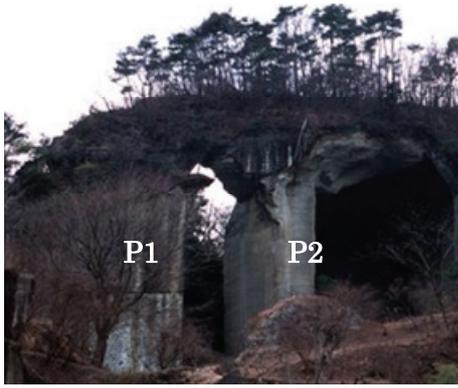


図5. 16 地震応答解析による応答の深度分布²⁰⁾

このように、空洞が大きな地震動を受けると、特に残柱に過大な応力とひずみが集中して破壊され、それまで支えていた荷重が隣接残柱に再配分されて崩壊が次々と周囲に広がり、結果的に広範囲に被害が発生すると考えられる¹⁷⁾。

地震時において亜炭鉱廃坑などの空洞地盤が崩壊する現象は、2003年宮城県北部地震でも宮城県矢本町（現、東松島市）で報告されている¹⁶⁾が、2011年3月の東北地方太平洋沖地震の際に顕著な被害として現れた¹⁷⁾。写真5. 5～写真5. 7は、その本震および余震の発生にともない空洞または半地下式空洞が崩壊・陥没した被害の一例である。このうち、写真5. 6の沈下は埋め戻されていた立坑内の土が地震動で下の採掘坑内にずれ込んで沈下した現象と考えられる。また、写真5. 7の陥没は当地の地下水位が高いことと現地での観察から、地震の揺れで空洞内部に充満していた地下水がスロッシングを起こし、それが地震時の空洞の不安定性を拡大した結果と考えられる¹⁷⁾。この現象は2003年宮城県北部地震の際の矢本町での陥没被害でも見られた現象である¹⁶⁾。

このような地下空洞の被害を防止するための対策として有効なのは、空洞内部を埋め戻して被害の原因を除去することである。その手段として、地上からスラリー状の充填材をボーリング孔（充填孔）を通して空洞内に注入し安定化を図る空洞充填工法が安全で確実な方法といえる。



(a) 地震発生前



(b) 地震発生後

写真5. 5 半地下式採石場跡の地震による崩壊¹⁷⁾
(宇都宮市大谷町 (震度6強), 2011年3月)



写真5. 6 地下採石場立坑跡の地震による沈下¹⁷⁾
(宇都宮市大谷町 (震度6強), 2011年3月)



写真5. 7 亜炭廃坑の地震による陥没¹⁷⁾
(宮城県栗原市 (震度7), 2011年3月)

(3) 空洞充填工法の開発

空洞充填工法は東海地方各地に残る亜炭廃坑の被害防止技術として、1975年に通商産業省名古屋通商産業局が主催した産官学のメンバーによる委員会で検討されて開発された。空洞充填工法に用いる充填材は充填材製造プラントで、砂利工場などで山砂利選別時に発生する脱水ケーキ(東海地方では粘土キラともよぶ)、あるいはガラス原料を製造する珪砂工場の珪砂選別残さい(同、砂キラ)などの土質系副産物を母材とし、これに固化材と水を練り混ぜて製造する¹⁸⁾。充填材は、材料の特性により高い流動性を有することから、1つの充填孔から空洞内の遠方にまで送ることができ、また、複雑な形状の空洞であっても均質に充填できることが特徴である。このような流動性の高い充填材を用いる空洞充填工法を、後述する限定充填工法と区別して、特に流動性充填工法とよび、その充填材を流動性充填材とよぶ。図5. 17に充填材の製造と流れを、表5. 3に流動性充填材の品質目標値を、表5. 4に流動性充填材の配合例を示す。なお、粘土キラ、砂キラは充填材として利用するほかに、東海地方では瓦・レンガ・タイルなどの原料にも利用されている。写真5. 8および写真5. 9に、それぞれ粘土キラ、砂キラの様子を示す。

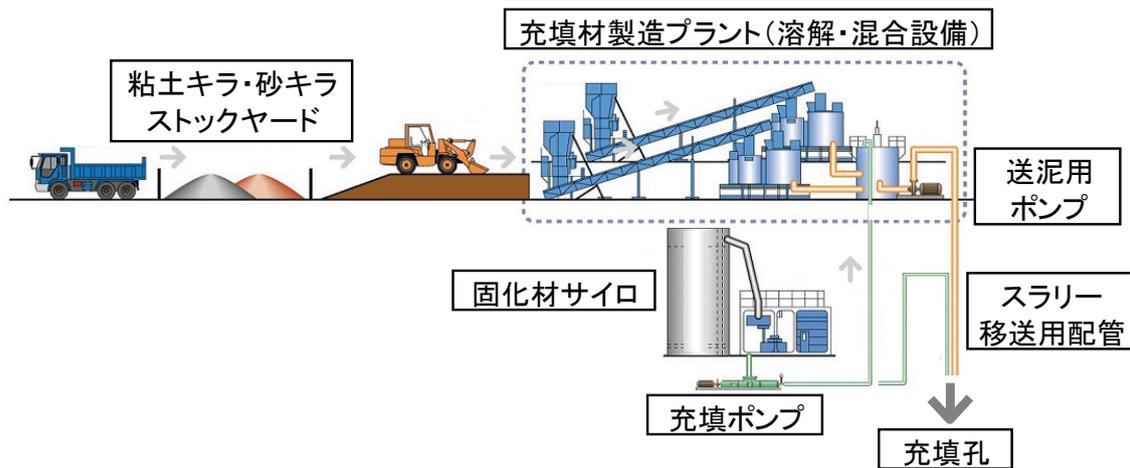


図 5. 17 充填材の製造と流れ

表 5. 3 流動性充填材の品質目標値¹⁸⁾

品質項目	目標値	備考
P漏斗流下時間	9～14秒	「プレパックドコンクリートの注入モルタルの流動性試験方法（P漏斗による方法）」（JSCE-F 521）
ブリーディング率	3%以下	「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率および膨張率試験方法（ポリエチレン袋方法）」（JSCE-F 522）
一軸圧縮強度	50kN/m ² 以上	「土の一軸圧縮試験方法」（JIS A 1216） 標準水中養生日数28日
	20kN/m ² 以上	「土の一軸圧縮試験方法」（JIS A 1216） 空洞充填材の不攪乱試料
有害物質分析	基準値以下	充填材について、「土壌の汚染に係る環境基準」（環境庁告示第46号）を適用

表 5. 4 流動性充填材の配合例

(kg/m³)

母材		固化材	水
粘土キラ	砂キラ		
290	290	60	761



写真 5. 8 粘土キラ

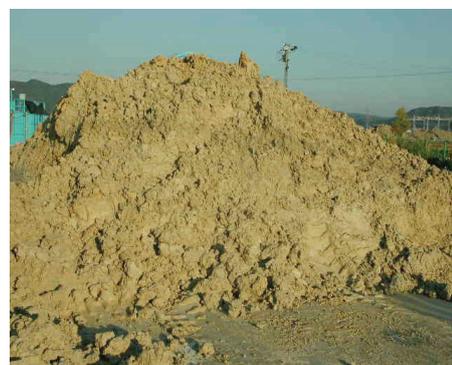


写真 5. 9 砂キラ

(4) 限定充填工法の開発

(a) 限定充填工法の概要

空洞充填工法は、主に宅地開発地域の地下に空洞がある場合の対策工事として施工されてきたが、近年になり、広く亜炭廃坑が分布する地域に道路や鉄道が計画され、施設直下の空洞範囲に限定した充填のニーズが生まれたことから限定充填工法の開発に至った³⁾。限定充填工法は充填材の流動性を制御することで、対象外の空洞に充填材が大量流出するのを防止する工法である。施工手順は、図5. 18に示すように、最初に端部充填材とよぶ充填材を空洞内に注入して、対象範囲の境界線上に連続した隔壁を形成する。その後、内部に中詰充填材とよぶ流動性充填材に相当する充填材を注入して、全体で空洞の所定の領域を充填する。図5. 19は端部充填材の“勾配”および充填孔口から押し広げることができる“到達距離”を説明したものである。

端部充填材の流動性を制御するための添加剤には特殊水ガラス（溶脱成分である Na_2O 含有量の少ない水ガラス）とスラリー急結剤（水と混合して添加する粉体急結剤）がある。前者はゲル化作用で充填材の流動性を低下させるもので、後者は固化材の水和反応による凝結を促進して流動性を急速に低下させるものである。これらによる端部充填材の空洞注入直後の勾配は、それぞれ1:5程度（緩勾配タイプ）、1:3程度（急勾配タイプ）が得られる³⁾。したがって、たとえば亜炭廃坑のような比較的空洞高さが低い空洞の場合には緩勾配タイプとし、また地下採石場のような高い空洞の場合には急勾配タイプとするように使い分けられる。表5. 5に端部充填材の標準性能を、表5. 6に緩勾配タイプの配合例を、表5. 7に急勾配タイプの配合例を示す。

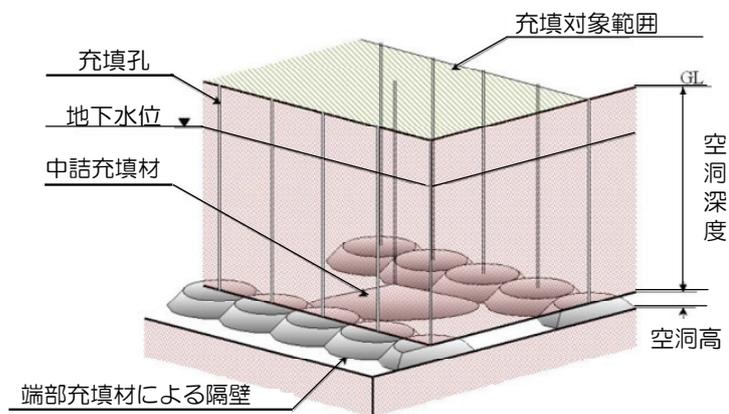


図5. 18 限定充填工法の概念図（透視図）

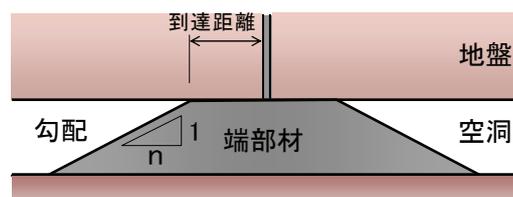


図5. 19 端部充填材の断面図

表 5. 5 端部充填材の標準性能 参考文献 3) に加筆

	緩勾配タイプ	急勾配タイプ
流動性制御用 添加剤	特殊水ガラス	急結剤
ゲルタイム	10秒程度	2分以内
フロー値	140～180mm程度	110～140mm程度
隔壁の勾配	1:5程度 ※	1:3程度
到達距離	4m程度 ※	2m程度以上
空洞高さの適用範囲	3m弱程度以下 ※	3m以上

※ 空洞内部が地下水で充満している場合

表 5. 6 緩勾配タイプの配合例

A液				B液	
粘土キラ	砂キラ	水ガラス	水	固化材	水
290	290	48.8	621	90	90

(kg/m³)

表 5. 7 急勾配タイプの配合例

A液			B液	
粘土キラ	固化材	水	急結剤	水
450	100	701	20	100

(kg/m³)

限定充填工法で確実に範囲を限定した充填を行うための重要な性能は端部充填材の流動特性であり、それを室内試験で判断する指標がフロー値（テーブルフロー）で、流動性充填材のP漏斗流下時間に替わる品質目標値である。

以降に緩勾配タイプの開発について述べる。

(b) 緩勾配タイプの開発

岐阜県御嵩町比衣地区から可児市柿田地区では広範囲に垂炭廃坑が分布しているため、この地域を通る東海環状自動車道と可児御嵩バイパスの建設に際し、現地で実際の廃坑空洞を対象にして、40m×70m の周囲を端部充填材の隔壁で締め切り、内部を中詰充填材で充填する試験施工を行った。試験施工位置での空洞の深さは約 25m、空洞の高さは約 1.2m、内部は水没している状況であった。試験施工平面図を図 5. 20 に示す。図中の残柱と空洞の範囲は、事前に多数のボーリング孔から機器を挿入して行った音響測深探査（指向性の強い超音波を水中で発振してその反射波到達時間から対象物までの距離を求める方法）の結果を合成して推定したものである。試験施工での確認結果を表 5. 8 に示す。表のうち出来形の平均最小到達距離 4.6m、平均勾配 20.6%

（約 1:5）の結果から、表 5. 5 における緩勾配タイプの隔壁の勾配と到達距離をそれぞれ 1:5 程度、4m 程度と設定している。また、本工事では端部・中詰充填材での確認ボーリングの結果、48 箇所すべてにおいて空洞天端まで充填材の到達を確認したことから、充填材の空洞天端への密着

充填による確実な施工を裏付けることができた³⁾。

本工事の工事概要

工事名：平成12年度 東海環状可児垂炭坑充填工事

発注者：国土交通省中部地方整備局

工期：平成13年3月16日～平成14年10月31日

削孔工：総延長 54,145m

充填量：81,147m³

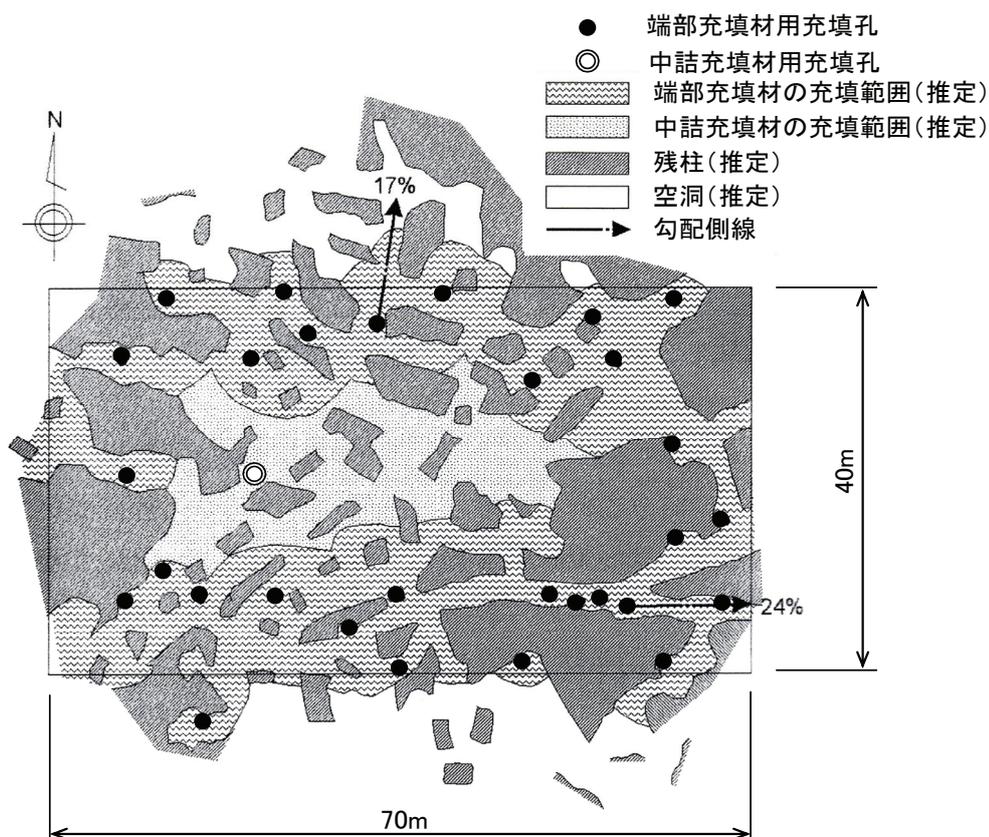
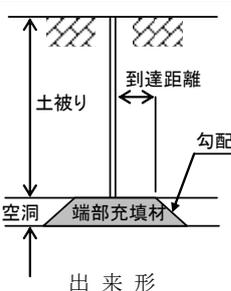


図5.20 試験施工平面図

(5) 5.3のまとめ

地下に潜む廃空洞は常にそこに暮らす住民の命や財産を脅かしており、重大な社会問題として認識する必要がある。これらの空洞の調査や対策などに要する期間を考えると、早急にその対応策を検討する時期に来ているといえる。対策として有効なのは、被害の原因除去となるように空洞を埋め戻すことである。空洞を埋め戻すには地上から安全にまた確実に施工できる空洞充填工法が適している。

表5. 8 限定充填工法緩勾配タイプの試験施工結果 参考文献3)の表-4.10に加筆

確認事項	確認方法	観察・測定結果
充填材の種類	-----	1) 端部充填材, 2) 中詰充填材
充 填 量	-----	1) 1,018m ³ , 2) 236m ³ , 計 1,254m ³
地表からの深さ	-----	約25m
	2m間隔に設けた周辺の観測孔(3~5本/箇所)により, 充填高探査で端部充填材の到達距離を確認する.	12箇所の端部充填材の平均最小到達距離は4.6mであった. これにより, 本工事での端部充填材の充填孔間隔を4mの2倍の8mとした.
	2m間隔に設けた観測孔により, 端部充填材の形状(勾配)を確認する.	端部充填材の勾配は24.1%および17.0%で平均20.6%(約1:5).
	中詰充填の前後に, 閉塞した端部充填材の形状を外側から音響測深探査により観察することで, 端部充填材からの中詰充填材の漏洩を確認する.	端部充填材5箇所中の2箇所から, 当初中詰充填材の多少の漏洩があったが, 充填の進行とともに自然に閉塞した.
充 填 性	確認ボーリングにより, 充填材と空洞天端の空隙の有無を確認する.	空洞天盤部での空隙は認められなかった. (8孔実施)
フレッシュ性状	製造直後の充填材の抜き取りにより試験を行う. a) 流動性試験(P漏斗)(中詰充填材) b) ブリーディング試験 c) ゲルタイム試験(端部充填材) d) フロー試験(テーブルフロー)(端部充填)	フロー値が若干目標値を下回るものがあったが, 他は全て目標値を満足した. (目標値) P漏斗流下時間; 9~14秒 ブリーディング率: 3%以下 フロー値: 端部充填材 150±10mm(当時)
強 度	e) 室内養生供試体の一軸圧縮試験 f) 原位置コア供試体の一軸圧縮試験	すべて目標値を満足した. e) 端部充填材 430~1040kN/m ² 平均 790kN/m ² 中詰充填材 170kN/m ² f) 端部充填材 403~896kN/m ² 平均 570kN/m ² (目標値) 端部充填材 400kN/m ² 以上 中詰充填材 100kN/m ² 以上
水質試験	g) 水道法での水質試験 h) 原位置試験(pH,SS,水位)	充填施工による変化は認められなかった. g) 充填前・充填後 46項目 充填中 17項目

注(1)端部充填材と中詰充填材の強度の目標値は本工事での異なる施工場所を想定し、上記の値とした。

(2)充填高探査;ボーリング孔から空洞内に降ろした電気的センサーでその位置での充填材の到達(付着)を検出する装置

(3)音響測深探査;指向性の強い超音波(ソナー)を水中で発振し、その反射波到達時間から対象物までの距離を求める手法

このうち流動性充填工法は名古屋通商産業局を主体として開発された技術であるが、その後、著者の主導で開発した限定充填工法を加えることで多様な空洞条件にも対応可能となり、また充填材の製造や品質管理方法も体系的に整備できた。付録2の表に空洞充填工法の全体の施工実績を示す。表より、実績はこの37年間で、50件、総充填量約57万m³に達している。特に最近では、充填対象範囲の周囲への配慮などから限定充填工法を採用する場面が多くなり実績を伸ばしている。

空洞充填工法は防災技術であるとともに、空洞内に注入する充填材の材料に脱水ケーキなどの副産物をリサイクル利用する環境負荷低減技術でもある。研究レベルではあるが、その材料に石炭フライアッシュ、溶融スラグ、下水汚泥焼却灰などのリサイクル材料を利用するための知見も得ている³⁾。これらの研究成果は将来の循環資源のあらたな有効利用分野の確立につながると考える。

5. 4 持続可能社会へ向けた土木事業における木材利用の提案

(1) 木材の特徴と利用の意義^{4),5),6),7)}

本節では木材が大気中の炭素を吸収固定していることを利用し、丸太を地中に打設することで、軟弱粘性土地盤対策を実施しながら炭素貯蔵を同時に実施することを提案する。

樹木は、光合成により大気から二酸化炭素を吸収し、酸素を排出しながら樹木として炭素を固定したもので、樹木の成長量は大気中からの炭素（二酸化炭素）削減量を意味する。

一方、化石燃料を使用すると、長い年月を要して地中に封じ込められた炭素を大気中に放出し、大気中の二酸化炭素濃度を上げる。図5. 21に、このような過去の炭素の自然の流れと、現在の流れを模式的に示す。化石燃料が作られるには長い年月が必要なので、非可逆的といってよい。現在の大気中の二酸化炭素の濃度は0.0379%（379ppm）（2005年）であるが、誕生直後の地球は何十%もの高濃度であったと言われる。その後、水の誕生、生物の誕生によりそれが固定化され濃度を減じてきた。長い年月を費やし、大気中の二酸化炭素を地中に封じ込めることで、現在の大気環境、温度環境、土壌環境など人類が生存し生活できる地表環境が形成された²¹⁾。この恩恵を受けて生存している人類が、現在その化石燃料を掘出し大気に放出し、自らを生存の危機に曝している^{6),7)}。

木材利用により、①炭素貯蔵、②省エネ、③化石燃料代替、④森林活性化の各効果が期待できる²²⁾。ここでは特に、①炭素貯蔵、②省エネ効果を土木事業においても積極的に利用しようというのが著者の考えである^{6),7)}。

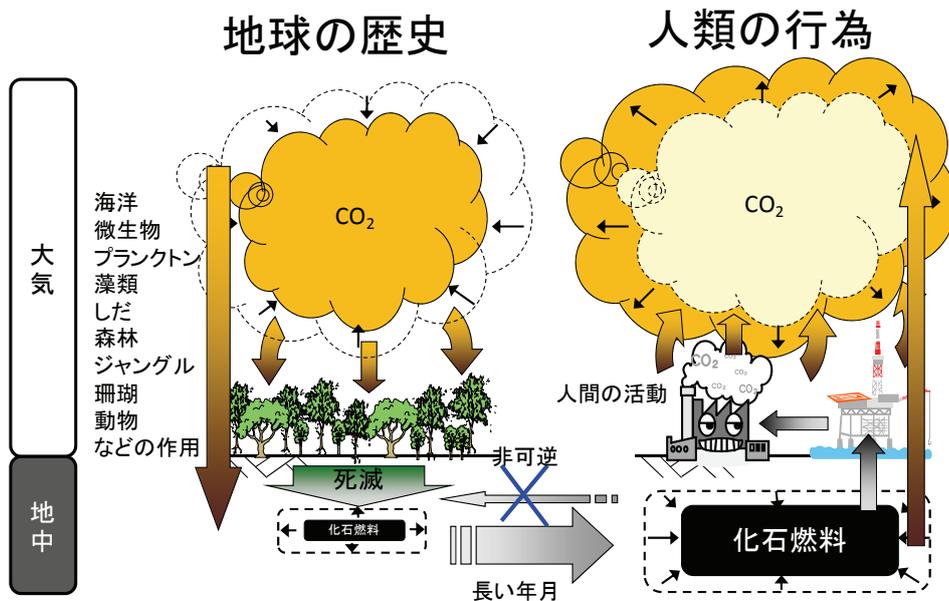


図5. 21 二酸化炭素の流れの方向と地球の歴史^{4),5)}

表 5. 9 土木資材として木材を利用する場合の長所と短所

	長所	短所
力学的特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・軽い割に強度がある ・弾性領域が広い 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼材に比べ強度が低い ・乾燥により変形する
一般的な特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・放置すれば自然に戻る ・燃料として利用できる ・見た目や感触が良い 	<ul style="list-style-type: none"> ・腐朽や虫害がある ・燃えやすい ・形状のばらつきが大きい
	<ul style="list-style-type: none"> ・持続可能な材料である ・生産時のエネルギーが少ない ・炭素を貯蔵している ・環境負荷の心配が少ない ・間接的な環境効果もある ・加工が容易である ・比較的塩害に強い ・熱伝導率が低い ・温度応力がほとんど発生しない ・利活用の歴史がある ・国内のほぼ全域で供給ができる 	<ul style="list-style-type: none"> ・品質のばらつきが大きい ・長大材を得にくい ・均質で大きな構造体を作れない ・現在は供給が不安定である

社会資本を整備する土木事業において、木材利用の用途、範囲を拡大することで、新たに大きな需要を生み出し、炭素の貯蔵を増やしつつ、社会資本整備を進め、なおかつ、豊富に育成された日本の森林資源を活用し疲弊している林業を再生し、日本の産業構造を健全化するの狙いである^{6),7)}。

土木事業において木材の利用拡大をはかるにあたり、木材の特徴を活かした技術開発を行う必要がある。表 5. 9 に、土木資材として木材を使用する場合の長所と短所を示す^{6),7)}。木材は、天然材料であるが故に様々な特質を持つ。木材は、放置すれば自然に戻り、燃料利用もできるといった長所があるが、逆に、腐朽や虫害、燃えやすいという短所があり、長期的に機能を要求されるときこれが大きな障害となる場合がある。一方、前述の二酸化炭素削減効果以外にも木材利用には多くの長所がある。木材利用は過去に多くの実績を持つ場合があり、実績を重視する土木事業にとってこれらは本来有利である。さらに、土木事業は森林と同様に国内の至るところに分布していることや、木材は環境負荷の心配がない点も、長所だといえる^{6),7)}。

(2) 土木事業における木材利用の提案

(a) 木材利用を進める背景

図 5. 22 は、樹木の成長による経過年数と炭素貯蔵量の関係を概念的に示したものである。伐採した木材を木材製品などとして使用し続ければ、これらも炭素を固定しているので、伐採後も樹木の成長によってもたらされた炭素貯蔵量を減じることがない。加えて、伐採後新たに植林を行えば、成長した分はさらに炭素固定量が増加することとなる。これを繰り返すことで木材の体積を増やすことが可能となる。

我が国は、現在、森林資源を利用する絶好の機会である。一方、国内林業は現在疲弊した状態にある。森林・林業再生プラン²³⁾では、木材の自給率を現在の24%から10年後には50%にする目標値が示されている。さらに、2010年5月には、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律（平成22年法律第36号）」が公布された。公共建築物については国が率先して木材利用に取り組むとしている。

これに加え、著者らは土木事業においても、積極的に木材を利用することを提案する。新たに大量の需要を生み出し、かつ材料として有効に活用しつつ、より長期に炭素貯蔵を行える方策として、地中における軟弱粘性土地盤などへの利用が有効であると考えられる。地下水位以下では木材は腐らず長期的に健全であるからである。このような新たな需要を生み出すことで、カーボンストックが実現する。以下に、この方法を用いることで工事が炭素貯蔵となることを示す。また、軟弱粘性土地盤対策効果、液状化対策効果についても定量的に示す。

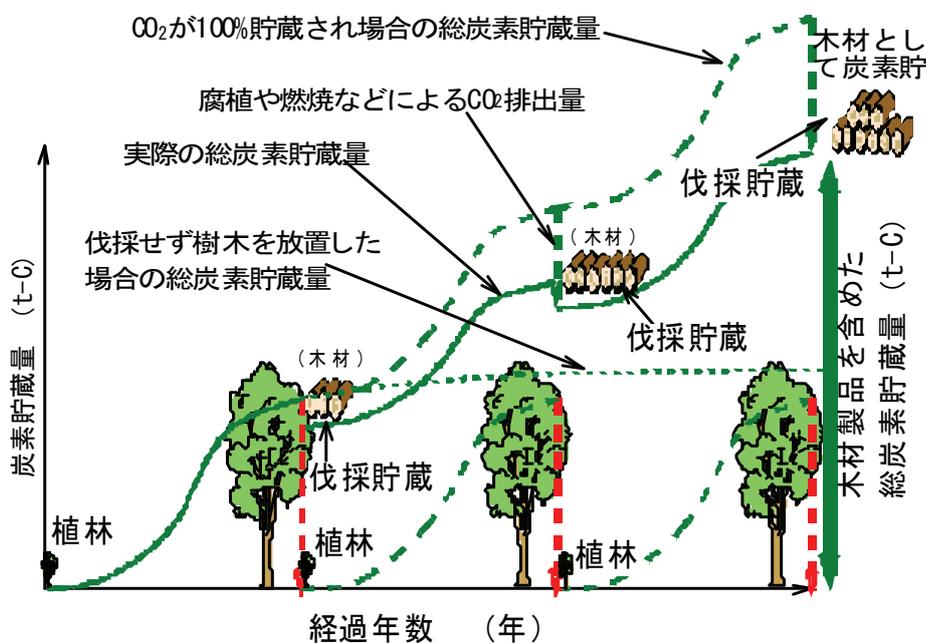


図5. 22 カーボンストックの概念図

(b) 地中での木材利用による炭素貯蔵効果⁷⁾

木材を地中の地下水位以深で使用した場合には、木材は長期耐久性に優れているので、炭素貯蔵効果が期待できる。ここでは、工事による二酸化炭素排出量と、木材によって貯蔵された炭素量の比較について、人工の軟弱地盤を作製し、そこに軟弱地盤対策として実大規模の丸太を打設する工事を行い、両者を計測した結果を示す⁷⁾。

実験は、深さ4m、地表部で幅13m長さ28m、底部は幅5m長さ20mのトレンチを造り、そこに人工の軟弱地盤を作製した。図5. 23に、実験ヤードの概要を示す。実験ヤードは、4区画

に分け、それぞれ丸太を 0.5m 間隔と 1.0m 間隔で打設した地盤対策、無対策、土木シートによる地盤対策を行った。用いた丸太はスギであり、末口が 0.15m、長さ 3m である。このような人工の軟弱地盤の上に、上載荷重としてサンドマットを 0.5m 敷設し、さらに 1.5m の盛土を設置した。

図 5. 24 に、森林、加工場、材料採取地から実験ヤードにおける作業項目、作業に用いた機械、作業の流れを示す。これらの作業に対して、二酸化炭素排出量を求めた。図 5. 25 に、丸太を 0.5m 間隔で打設した場合の丸太による炭素貯蔵量と各作業による二酸化炭素排出量を示す。本工事の場合、工事による二酸化炭素排出量よりも丸太に固定された炭素貯蔵量の方が大きく上回り、工事することが二酸化炭素削減に寄与することがわかる。各工程では、地拵えから枝打ちにおける二酸化炭素排出量は無視できるほど小さいこと、伐採搬出、丸太打設、サンドマット、盛土の作業工程で二酸化炭素排出量が多いことがわかる。排出量が多かったこれらの内訳では伐採搬出においては運搬や人の移動に伴う排出が 76%と多く、サンドマットと盛土施工においてはダンプによる運搬による排出がそれぞれ 91%と 73%と多い。サンドマットと盛土施工においては、材料を可能な限り現場近くから調達するいわゆる地産地消とすることが二酸化炭素排出削減に大きく貢献する。

一般に二酸化炭素排出となる工事が、木材を利用することで、逆に大気中からの二酸化炭素削減に寄与できること、その効果は運搬距離を短くし地産地消とすることでより効果が大きいことが明らかになった⁷⁾。

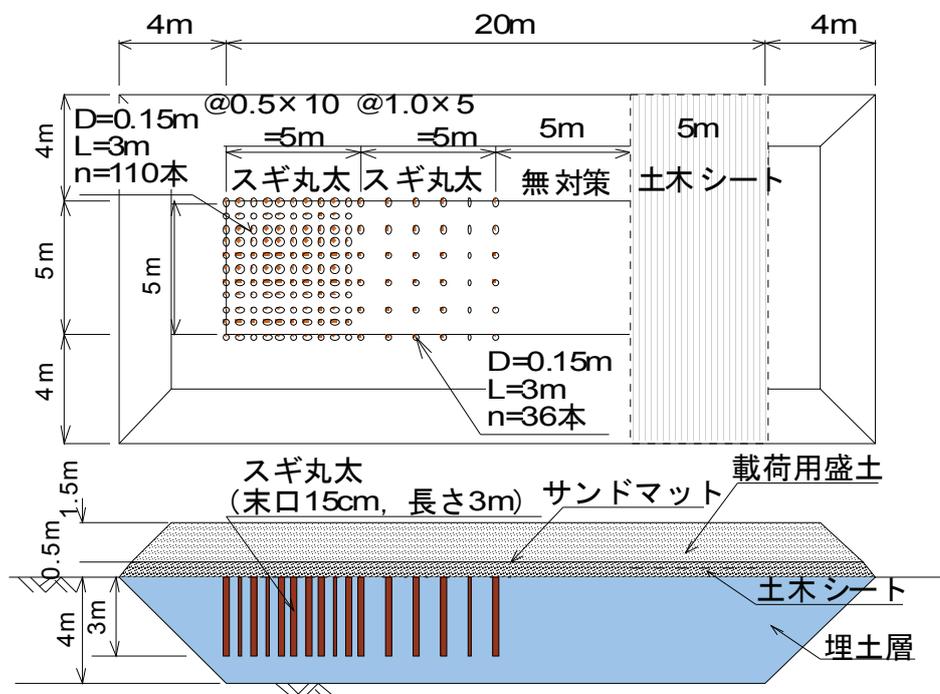


図 5. 23 炭素貯蔵効果を見る丸太打設実験ヤードの概要

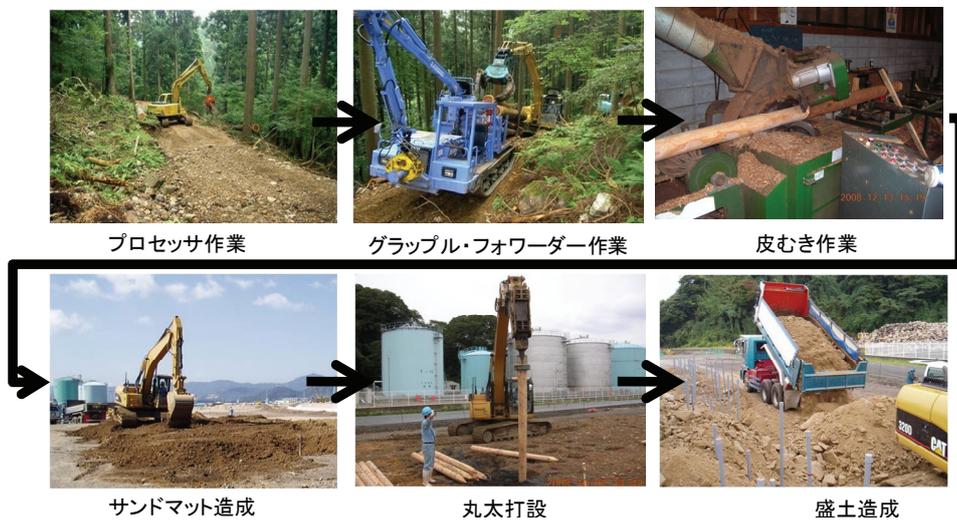
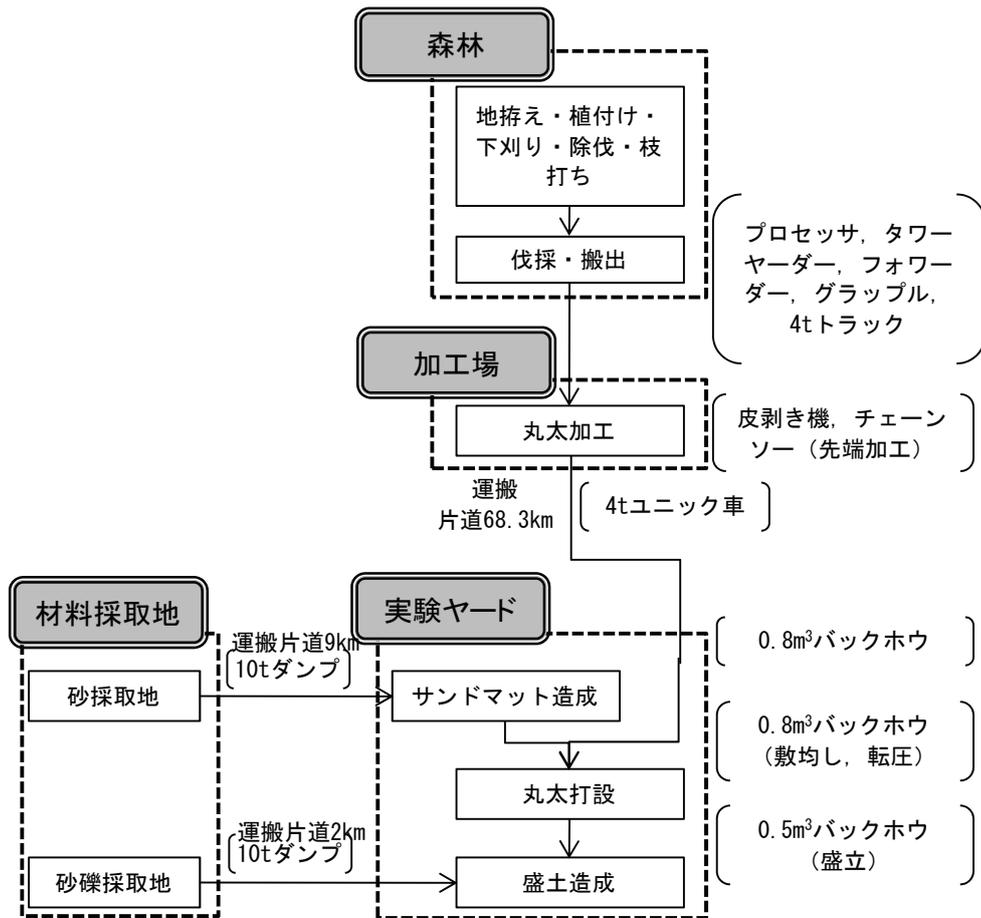


図5. 24 炭素貯蔵効果確認のための丸太打設実験に至る作業の流れ

(c) 木材利用による軟弱粘性土地盤対策の有効性^{6),7)}

木材を使用することによる環境的な意義を示したが、軟弱粘性土地盤に周面摩擦杭として木杭を用いると、木杭は RC 杭や鋼管杭と比べても有利である。これを確認した現場実験結果を示す^{6),7)}。

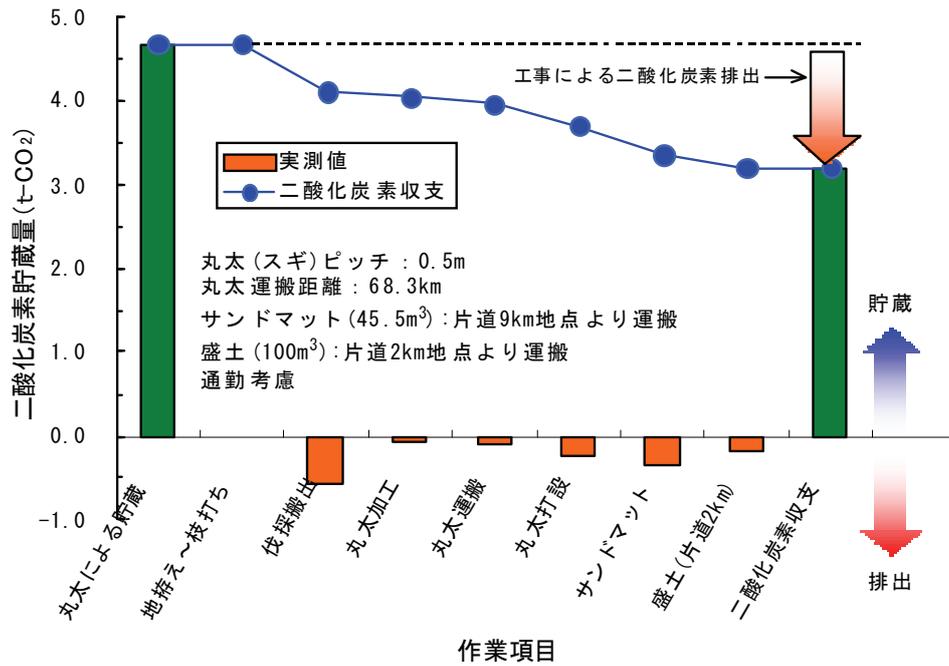


図5. 25 丸太を0.5m間隔で打設した場合における丸太による炭素貯蔵量と各作業における二酸化炭素排出量

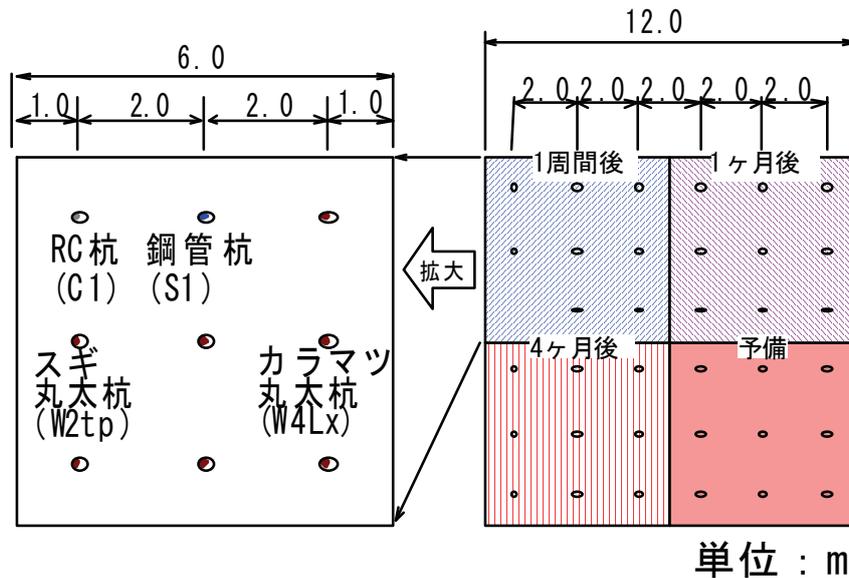


図5. 26 炭素貯蔵効果を見る丸太打設実験ヤードの概要

実験は、N 値がほぼ 0 の自然堆積の軟弱粘土地盤に種々の杭を打設し鉛直支持力について比較検討を行った。現場は、6m×6m の杭打設ヤードを 4 面設け、それぞれのヤードには 9 種類の杭を 2m 間隔で打設した。図5. 26 に実験の杭の配置図を示す。なおここでは、この内 4 種類の杭について結果を示す。それぞれのヤードの杭は、打設後 1 週間後、1 ヶ月後、4 ヶ月後に鉛直載荷試験を実施した。残り一面は、予備である。

4種類の杭は、RC杭、鋼管杭（先端部閉塞）、スギ丸太杭、カラマツ丸太杭である。鋼管杭は、直径 $D=165\text{mm}$ の円柱状であるが、その他の杭は、末口直径が $140\sim 159\text{mm}$ 、元口直径が $171\sim 195\text{mm}$ とテーパが付いている。ただし、周面積は、鋼管杭とほぼ同じである。スギ丸太杭とカラマツ丸太杭は、伐採後皮を剥いただけのいわゆる丸太であり、テーパは自然形状である。

図5. 27に、鉛直載荷試験結果を示す。鉛直支持力は、杭貫入量が $0.1D$ の時の載荷値（第2限界抵抗力）である。また、図中の破線は、粘着力に杭の周面積を乗じて求めた杭の周面摩擦支持力である（先端支持力は、 N 値 ≈ 0 より無視した）。

鋼管杭の鉛直支持力は粘着力より求められる鉛直支持力にほぼ一致し、スギ丸太杭とカラマツ丸太杭の鉛直支持力は、鋼管杭より大きく、RC杭と比べて同等またはそれ以上である。丸太杭の鉛直支持力が地盤の粘着力より求められる鉛直支持力より大きい理由は、丸太杭が水を吸い込み丸太杭周辺の過剰間隙水圧を早く消散させること²⁴⁾、テーパがついていること²⁴⁾が挙げられている。著者らはこれらが有効に作用するのはもちろん、それらに加えて、丸太杭が水を吸い込み僅かに膨張することで水平土圧が増加し丸太杭周辺地盤の強化増加が図られるためだと考えられる^{6),7)}。

このように、周面摩擦杭とした時には、鉛直支持力は杭体の強度にほとんど依存されず、杭体の形状（周面積）と杭体と地盤との周面摩擦抵抗に支配される。このため、同じ周面積とした場合には、地盤と杭表面との馴染みがよく杭の周面地盤を強化する丸太杭の方が、鋼管杭やRC杭よりも優位になると考えられる。したがって、木杭を軟弱粘性土地盤対策として用いることが、有効な方法として考えられる^{6),7)}。

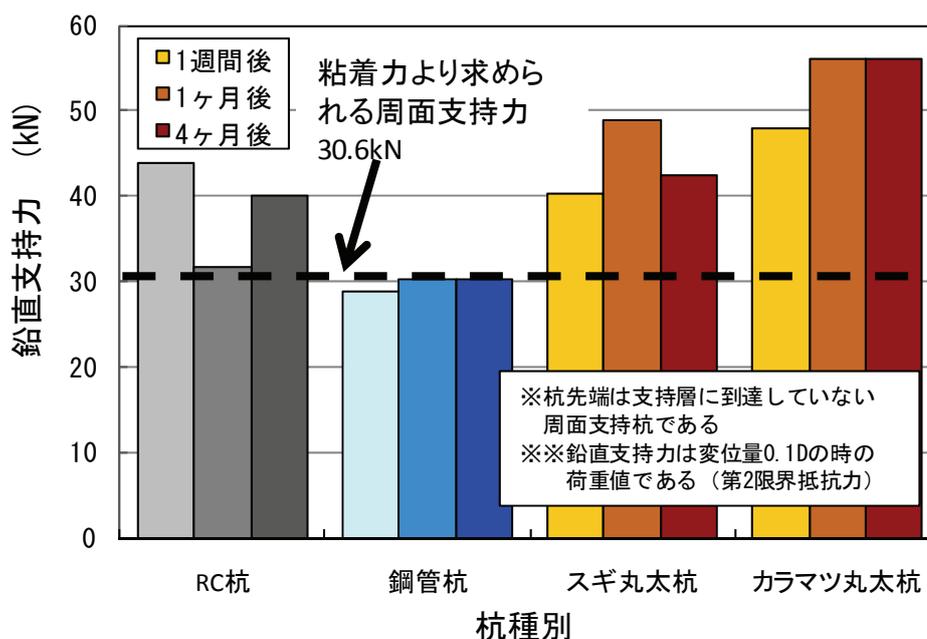


図5. 27 軟弱粘性土地盤に打設した種々の杭の鉛直載荷試験結果

(d) 木材利用による砂地盤の液状化対策の有効性

液状化対策としても木材利用が有効である。間伐材打設による砂地盤の液状化対策効果について、小型振動実験で、密度増大による地盤対策との比較を行い、その有効性を示す^{8),25)}。

液状化実験は、小型土槽に模型地盤を作製し、それを加振した。図5. 28に実験の概要を示す。用いた砂は豊浦砂であり、初期の未改良地盤の相対密度は50%、厚さ30cmとした。そこに直径 $D=0.9\text{cm}$ 、長さ $L=25\text{cm}$ の木杭（先端部はペンシル状）を杭間隔 $3D\sim 8D$ で打撃により貫入した。これらに、木杭を打設しない無対策のケース、木杭打設範囲について木杭を打設せずに砂地盤を相対密度90%に密締めしたケースを加えた。密締めの地盤は、別途改良範囲の大きさの密締めの地盤を作製し、これを一度凍結し模型地盤に設置したものである。加振波は、5Hzの正弦波22波で、その前後にそれぞれ5波の立ち上がり部と収束部が付いている。加振方法は、最初この加振波の振幅を50galで加振し、種々の計測を実施し、その後過剰間隙水圧の消散を確認後、振幅をさらに50gal程度ずつ大きくさせて揺するステップ加振とした。液状化対策を行った地盤の上には、質量11.5kgの構造物を模したおもりを木杭頭部と非結合で載せた。

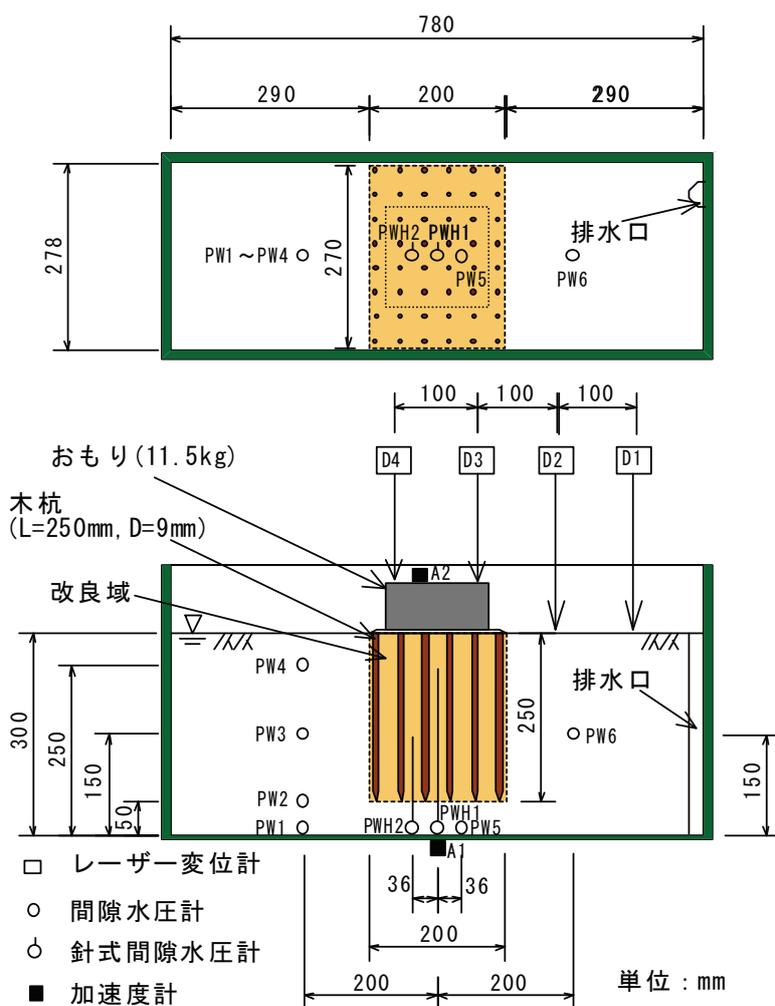


図5. 28 木杭打設による液状化対策模型振動実験の概要

図5. 29に、木杭打設による液状化対策模型振動実験による入力加速度とおもりの累積沈下量 ΣSi の関係を示す。累積沈下量とは、 i ステップで発生した沈下量を Si とすると、 i ステップに至る以前の沈下量も含んだ沈下量の合計値 ΣSi である。図中には、無対策および密締めした結果も破線で併記した。杭間隔が小さくなると累積沈下量が減少し液状化対策効果が上がるのがわかる。さらに、その対策工効果は、杭間隔を4Dや3Dと狭くした場合には、地盤を相対密度90%に密締めにしたものと同等またはそれ以上の効果があることがわかる。

このように液状化対策効果があるのは、木杭打設による砂地盤の締固め効果があるからである。さらに木杭は、そのものは液状化せず、地盤のせん断剛性よりも木杭のせん断剛性の方が大きいので、複合地盤としてのせん断剛性が大きくなること、支持力も期待できる。これらも、液状化の抑制に寄与していると考えられる。

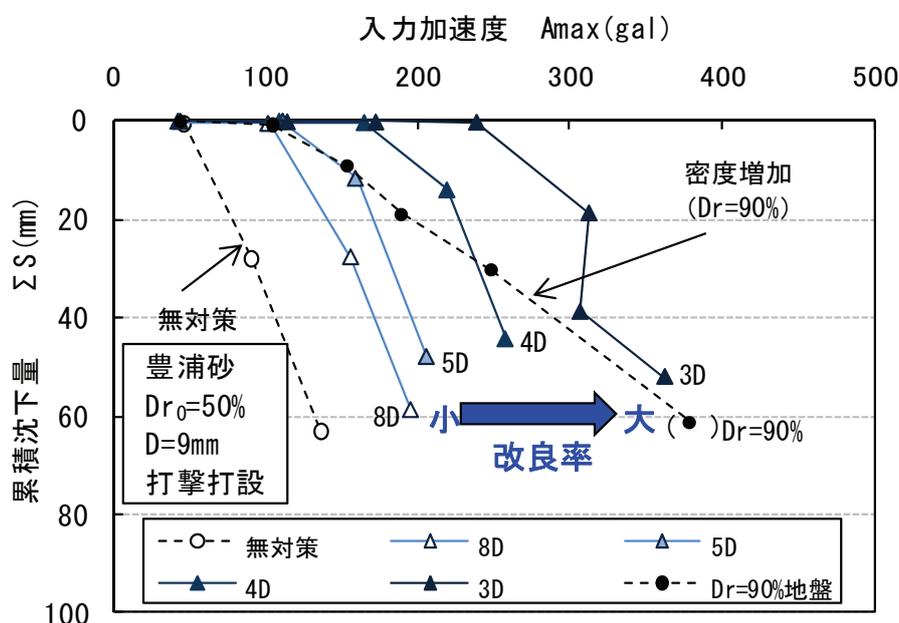


図5. 29 間伐材打設による液状化対策の入力加速度と累積沈下量の関係

(3) 5. 4のまとめ

図5. 30に、持続可能社会へ向けた今後の土木資材のあり方について示す。

江戸時代には、理想的な循環型社会が形成され、建設工事も天然材料である土・石・木を主体に用いていた。このため、温室効果ガス排出という問題は生じる要因がなかった。その後、高度経済成長やバブル期を経て、材料の主流はセメント・鉄・化学合成材料に移行され、経済性、合理性、効率性重視で建設が行われてきた。この間、いつの間にか環境的視点は欠如し、地球温暖化問題は深刻さを増し現在に至った。一方、国の施策により枯渇していた森林資源は豊かになり、セメント・鉄・化学合成材料や輸入木材に全てを頼らなくても国内の森林資源を使える環境が整った。そこで今後は、過去の良い点は見直し、今まで培ってきた技術を応用しつつ、可能なもの

から土・石・木といった天然材料を見直すべきである。特に、木材は、建設資材として積極的に見直すべき材料である。まず、これを主とし、使用できない場合には、セメント・鉄・化学合成材料を使用するといった考え方が今後必要である^{4),5),6),7)}。

この具体的方法として、軟弱粘性土地盤対策や液状化地盤対策などの地下水位の浅い地中での利用を示した。前述してきたように、木材を地中の地下水位以深で使用すれば、木材の最大の欠

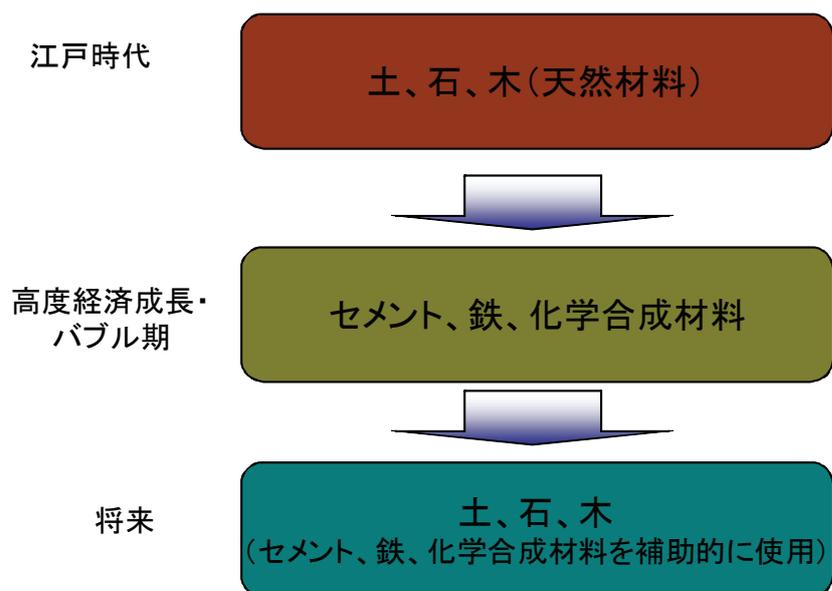


図5. 30 今後の土木資材のあり方

点の一つである腐朽に対する課題が解消される。同時に、燃えやすい、乾燥すると変形するといった問題も解消される。皮を剥いただけの丸太を用いれば、乾燥工程や加工工程を経る必要がなく、製造時エネルギーの削減およびコスト削減になる。さらに、軟弱粘性土地盤対策や液状化地盤対策として丸太を用いた場合には、丸太自体の強度は設計上ほとんど寄与しなくなる。このため、自然素材であるために課題となる丸太の強度のばらつきもほとんど問題にならない。また、このような利用方法は、長期耐久性を有することから、最大限に炭素貯蔵効果を活かすことができる。加えて、天然素材を使用するので、地下水汚染などのリスクもない。このように、持続可能社会へ向けて、木材の地中利用は、木材の特質を最大限に活用した利用方法の一つであると考えられる^{6),7)}。

液状化地盤対策では、木杭打設による砂地盤の締固め効果に加え、木杭は、液状化せず、地盤のせん断剛性よりも木杭のせん断剛性の方が大きいので、複合地盤としてのせん断剛性が大きくなることで効果が得られる⁸⁾と考えられ、東北地方太平洋沖地震で発生したような大規模な液状化に対して、有効な手段を提供できる。

5. 5 土壤汚染対策技術の開発

(1) 土壤汚染対策技術の現状

わが国における土壤汚染問題が社会的に初めて注目を浴びることになったのは、明治初期に渡良瀬川中流域で発生した鉱山廃水に起因した土壤汚染である。その後、それまで原因不明の奇病とされていたイタイタイ病が、カドミウムの暴露経路の1つである汚染農地の米に由来していることが明らかとなり、1970年、国は「公害対策基本法」（昭和42年法律第132号）に土壤汚染を追加するとともに、「農用地の土壤の汚染防止等に関する法律」（農用地土壤汚染防止法）を制定、1971年に施行された。市街地土壤汚染についても、東京都の化学工場跡地の六価クロム汚染や揮発性有機化合物等による地下水汚染問題などが次々に顕在化した。個々の汚染事例では浄化や被害防止に向けた対応が行われたが、健康被害との因果関係が明らかにされなかったため市街地土壤汚染対策の法制化は遅れることとなったが、ようやく1991年に農用地に市街地をも含めた「土壤の汚染に係る環境基準」（土壤環境基準）が定められるに至り、さらに、2003年には「土壤汚染対策法」が施行された²⁶⁾。

土壤汚染対策法では土壤汚染状況調査の結果により、たとえば重金属等の場合、土壤含有量基準を超過する土壤（直接摂取によるリスクのある土壤）の措置として、盛土を基本としながら、立ち入り禁止、舗装、土壤入れ替え、汚染土壤の除去・浄化が対処できる方法とされている。また、土壤溶出量基準を超過する土壤（汚染地下水等の摂取によるリスクのある土壤）では、原位置封じ込めを基本としながら、原位置不溶化・不溶化埋め戻し、遮水工封じ込め、遮断工封じ込め、汚染土壤の除去・浄化が挙げられている。

このように、土壤汚染問題は社会認知度の高まりにともない法整備が進み、個別事象に対する調査や措置も行われ環境整備も整ってきた側面もあるが、いまなお重大な汚染問題が発覚することがある。このことは、明治以来“公共”が議論されず公共の利害（特に害）については、隠蔽し内部で解決することを美德とする国民体質に起因するものと思われる。土壤は我々の日常生活を支える基盤であり、それだけその汚染問題は社会的関心をよびやすい。近年、残留性有機汚染物質（POPs）による汚染問題が取りざたされているが、このうち特に地盤環境に大きな影響を及ぼすものの1つとして、焼却施設などから発生するダイオキシン類（DXNs）の汚染が挙げられる。

以下、著者が建設業経営者の立場で経営上の重点施策として企画、推進したダイオキシン類汚染土壤の浄化技術である金属ナトリウムによる脱ハロゲン化技術の原理、処理手順および実証試験⁹⁾について記述する。

(2) 金属ナトリウムによる脱ハロゲン化技術

(a) 金属ナトリウムによる脱ハロゲン化技術の原理と処理手順

ダイオキシン類は焼却施設などから発生するとされているが、大気環境や水環境を経由して最

最終的に多くのものは、土壌に取り込まれるものと考えられる。なお、「ダイオキシン類対策特別措置法」(2000年施行)では、ダイオキシン類にかかわる土壌環境基準を土壌中の濃度として、1000pg-TEQ/g以下と定めている。

金属ナトリウムによる脱ハロゲン化技術はドイツハノーバー大学名誉教授であるベルジング博士²⁷⁾が開発した技術である。ダイオキシン類の毒性は特定の位置にハロゲン基を持つ平面型分子に由来するものであるため、脱ハロゲンすなわち塩素分子を除去することで無害化することができる。図5.31に示すように、この技術原理は、不活性ガス雰囲気下においてダイオキシン類と金属ナトリウムを接触させ、金属ナトリウムの強い還元力によってダイオキシン類の塩素を水素に置換させる方法である。外れた塩素はナトリウムと結合し、安定した塩化ナトリウムとなるため、ダイオキシンの再合成はない。

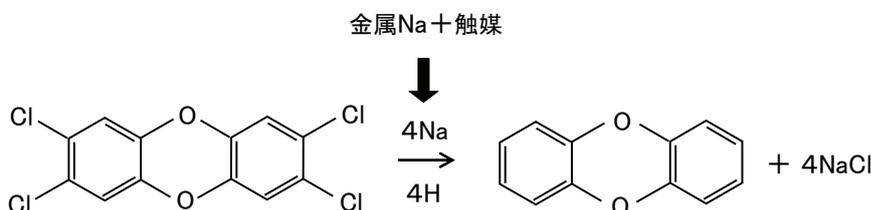


図5.31 技術原理の概要

(ダイオキシン類の一種であるポリ塩化ジベンゾパラジオキシンの例)

浄化処理は前処理工程、脱ハロゲン化工程、後処理工程からなる。前処理工程では試料の夾雑物の除去、分級・脱水、粒度調整を行う。粒度調整として試料は5mm以下に粉砕する。脱ハロゲン化工程では試料を乾燥させ、脱ハロゲン化反応機であるタワーミル(図5.33a)参照)に投入し、予備的に粉砕する。その後、添加剤(金属ナトリウム、触媒等)を添加して、30~60分間程度粉砕および混合を行う。後処理工程として、タワーミルから試料を取り出して養生槽へ移し、200℃程度で30~60分間程度保温する。以上の全体の処理フローを図5.32に示す。

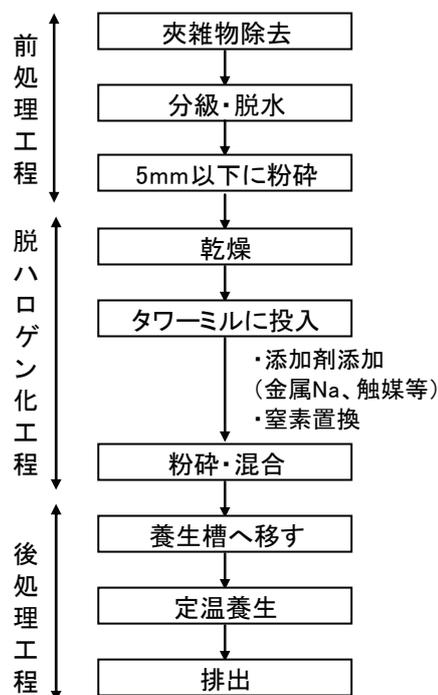


図5.32 処理フロー

(b) 金属ナトリウムによる脱ハロゲン化技術の実証試験

試験はダイオキシン類に汚染された土壌の修復を想定したもので、金属ナトリウムの分解性能を検証することが目的である。ここではタワーミルおよび振動ミルの2種類の機械を用いて、還元剤とした金属ナトリウムの添加量別の分解率を求め、その性能について検討した。機械選定にあたっては、粉碎と混合の両方の機能を有する機械とした。図5.33に試験機器の概要を示す。

タワーミルは機械本体に設置されている駆動装置により反応容器内中心のスクリーを回転させ、反応容器内に充填された粉碎用ボールによって対象媒体を粉碎・混合する仕組みである(図5.33 a)。振動ミルは反応容器内に粉碎用のボール及び対象媒体を投入し、密閉した状態で反応容器に振動を与えることによって対象媒体を粉碎・混合する仕組みである(図5.33 b)。

試験に用いた試料は、被汚染媒体とした茨城県の関東ロームに、都市ごみ焼却施設にて発生した焼却灰(飛灰、焼却残灰等の混合物)を混合したものを試験的に作成し模擬汚染土とした。模擬汚染土のダイオキシン類濃度は「ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル」に基づく測定で4100pg-TEQ/gであった。模擬汚染土の物性値を表5.10に示す。

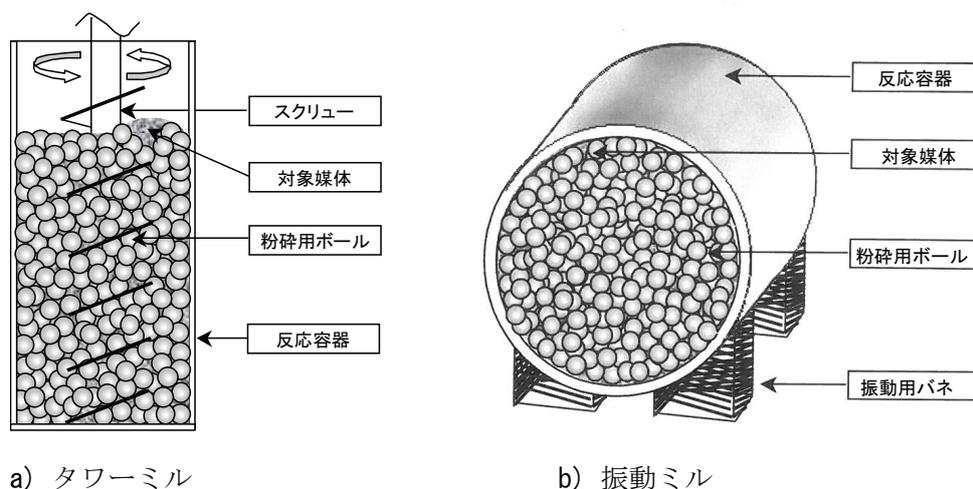


図5.33 試験機械概要⁹⁾

表5.10 模擬汚染土の物性⁹⁾

測定項目	粒度(%)				有機炭素含有量	強熱減量	pH
	>2mm	2mm~250 μ m	250 μ m~75 μ m	75 μ m<			
測定値	6.8	65.0	22.3	5.9	1.07%	6.50%	7.2

タワーミルおよび振動ミルともに図5.34に示す同じフローにて試験を実施した。乾燥工程では110℃で24時間乾燥させた模擬汚染土を、反応容器内に粉碎用ボールとともに投入し、残余水分等を完全に除去することを目的として、不活性ガス雰囲気下で15分間粉碎・混合した。

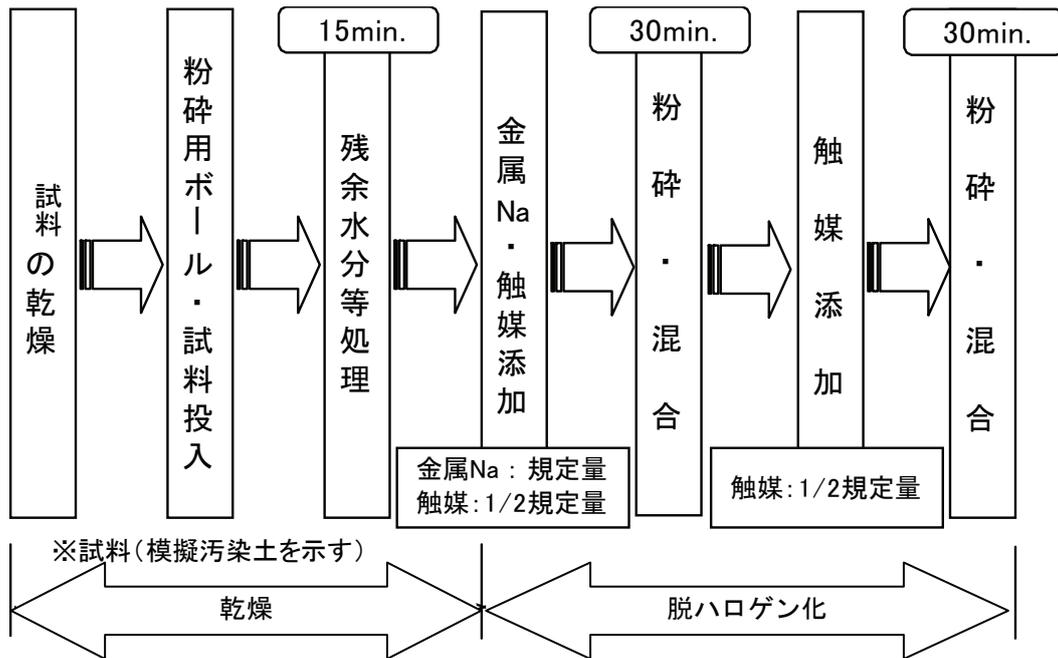


図5. 34 試験フロー⁹⁾

脱ハロゲン化では、乾燥後、金属ナトリウムと触媒を添加し、粉碎・混合した。30分後、残り半分の触媒を添加し、さらに30分間粉碎・混合し、脱ハロゲン化反応を終了とした。タワーミルの試験ケースは、反応容器を180℃に加熱した状況下で、試料乾燥重量に対する金属ナトリウムの添加量を1%、3%、5%の3水準に設定し、ダイオキシン類の分解率を確認した。振動ミルの場合は反応容器を加熱せずに常温の状況下で試料乾燥重量に対する金属ナトリウム添加量を1%、9%の2水準に設定し、ダイオキシン類の分解率を確認した。なお、触媒の添加量については、各ケースともに金属ナトリウム添加量の1/2重量を添加量とした。以上のように金属ナトリウムの添加量を変化させた各試験の条件と処理後のDXNs濃度および分解率を表5. 11に、また特に分解率をグラフ化したものを図5. 35に示す。

表5. 11 試験条件と処理後のDXNs濃度および分解率⁹⁾

	No.	試験条件						処理後濃度と分解率	
		処理前DXNs濃度 (pg-TEQ/g)	試料乾燥重量 (g)	金属Na添加量 (g)	触媒添加量 (g)	反応時間 (min)	加熱温度 (°C)	処理後DXNs濃度 (pg-TEQ/g)	分解率 (%)
タワーミル	TM-1	4100	900	9 (1%)	4.5	60	180	92	97.655
	TM-2		900	27 (3%)	13.5			38	99.004
	TM-3		900	45 (5%)	22.5			0.1	99.997
	TM-4		900	45 (5%)	22.5			0	100.000
振動ミル	VM-1		700	7 (1%)	3.5	60	非加熱	1,700	66.299
	VM-2		700	7 (1%)	3.5			1,800	64.317
	VM-3		700	63 (9%)	31.5			28	99.381
	VM-4		700	63 (9%)	31.5			5.8	99.872

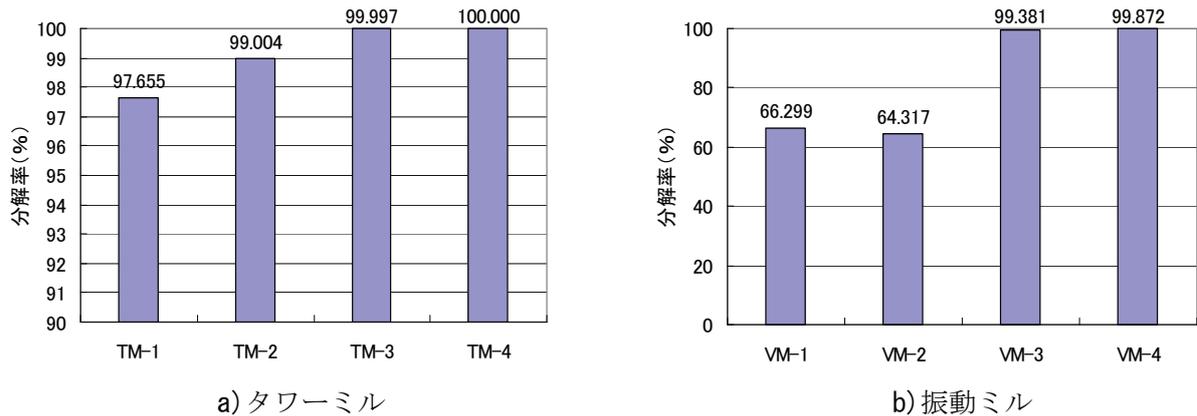


図5. 35 DXNsの分解率⁹⁾

試験結果より、金属ナトリウムの添加量に応じてダイオキシン類の分解率が高くなる傾向がある。模擬汚染土のダイオキシン類を分解するために必要な金属ナトリウムの理論値は、乾燥重量の1%未満である。したがって、金属ナトリウムの絶対必要量を越えた条件で分解率に差が生じているということは、ダイオキシン類の分子と金属ナトリウムの接触確率によって分解率に変化が生じるものと考えられる。また、反応温度によるダイオキシン類の分解率は同一の機械にて比較することはできなかったが、試験結果では、明らかに反応温度が高いほど分解率が高くなる傾向がある。反応容器内温度が100℃以上の場合、金属ナトリウムが固相から液相に変化することによって、ダイオキシン類分子との接触確率が高まり、分解率が高くなったものと考えられる。

以上の試験結果より得られた成果は次のようになる。

- ①関東ローム主体のダイオキシン類汚染土でも、金属ナトリウムを還元剤とした脱ハロゲン化技術を適用した土壌修復が期待できる。
- ②ダイオキシン類の分解率を向上させるためには、ダイオキシン類分子と金属ナトリウムの接触確率を高める必要がある。
- ③接触確率を高めるには、金属ナトリウム添加量を増加させるよりも、金属ナトリウムが溶解する融点まで反応温度を上昇させた方が有効である。

(3) 5. 5のまとめ

本節で取り上げた金属ナトリウム脱ハロゲン化技術はダイオキシン類による汚染土を対象とした浄化技術であるが、ダイオキシン類はその難分解性ゆえ本技術はまだ発展途上にあるといえる。

一般に土壌汚染の対策は浄化による方法のみならず、立ち入り禁止、盛土、舗装、土壌入れ替え、原位置封じ込めなどの措置について、応急的措置あるいは恒久的措置であるのか、また汚染程度、周辺環境への拡散のリスク、処理費用などを勘案し、総合的に検討されるべきである。

地盤環境汚染の対策に関する課題として次の点が挙げられる。汚染土壌の修復には多額の経費と時間が必要なことが多く、また汚染は過去の産業活動の負の遺産とみなされることがほとんど

である。このため多くは汚染原因者と修復施工者のみで水面下で対策が行われ、措置方法と結果などの情報が公開されることはまれで、技術の進歩を阻害する原因ともなっている²⁸⁾。対策に用いた技術の有効性や修復にともなう二次的な環境負荷の有無などの将来の技術開発に役立つ情報の開示こそがこの分野の発展に必要である。

5. 6 水質汚染対策技術の開発

(1) 水質汚染対策技術の現状

水質汚染は世界中いたるところで出現している深刻な問題である。特に発展途上国を中心に、安全な飲料水を取得できない人々が地球上に5億人も存在するといわれている。水質汚染の様相は、産業の形態変化と拡大、生活水準の向上や人口増加による排出量の増加、新規合成化学物質の出現などにより多様に変化し、その分析、処置、予防手段は常に後追いであった²⁹⁾。

一方、土木技術者の立場から振りかえれば、ダムや堰堤などで閉鎖水域を造りながら水質の汚染や景観悪化など将来の環境に及ぼす影響について何の関心も持っていなかったことを反省しなければならない。土木技術者は、構築物の機能だけでなく、機能を発揮した後の状態について長期的に予想できる感性を養う必要がある。

一般に、水の交換性が悪い湖沼や貯水池などの閉鎖水域で、工場排水、家庭廃水、農業排水、畜産排水などが流入するところでは、有機物濃度、栄養塩類（窒素、リン）が高い値となり、汚濁が進み、さらにプランクトンが大量発生して有機物の生産と底泥生成が多くなり、富栄養化が大きな問題となる。プランクトンの大量発生は、湖沼、貯水池の上層水のpHを上昇させるので、水道原水として用いる場合に凝集沈殿の効率を悪化させている。

湖沼、貯水池などのこれらの問題に対しては、従来、様々な装置を用いて浄化が行われてきた。一般的には、散気管による曝気やエジェクターを用いた攪拌作用で溶存酸素の増加を図り、微生物を活性化させることで自然の浄化を促す方法がとられる。しかしながらこのような装置では、気泡が大きいことから、水との接触効率が悪いため十分な溶存酸素の増加が期待できず、また必要なエネルギーが大きいためコスト面でも問題があった。これに対して、高効率気液混合装置（以下、文中ではNACシステム（Nature Alive Circle System）と略す）を用いた浄化システムを導入すればこれらを抑制できると思われる。

以下、著者の建設業経営者の立場で経営上の重点施策として企画、推進したNACシステム¹⁰⁾の実用化に向けた実験について記述する。

(2) 高効率気液混合装置を用いた水質浄化システム

(a) 高効率気液混合装置の機能

NACシステムは、図5.36に示す基本フローにより、溶解タンク内を低加圧(0.2MPa=2kgf/cm²)

以下に保つことで気体と水の接触面を大きくして、酸素、オゾン、炭酸ガス、窒素などの気体を瞬時に飽和以上に溶解させた気液混合液をつくる装置である。この気液混合水を約 1 気圧の水中へ放出することでマイクロサイズの微細な気泡を発生させ、あるいは気液混合濃度を制御して気泡をつくらずに水域に気体をその飽和濃度以上に溶存させることができる。これにより排水中の生物学的酸素要求量 (BOD)、化学的酸素要求量 (COD)、浮遊物質 (SS)、全窒素 (T-N) などを除去し、またオゾンの使用で脱色・脱臭も可能とする。

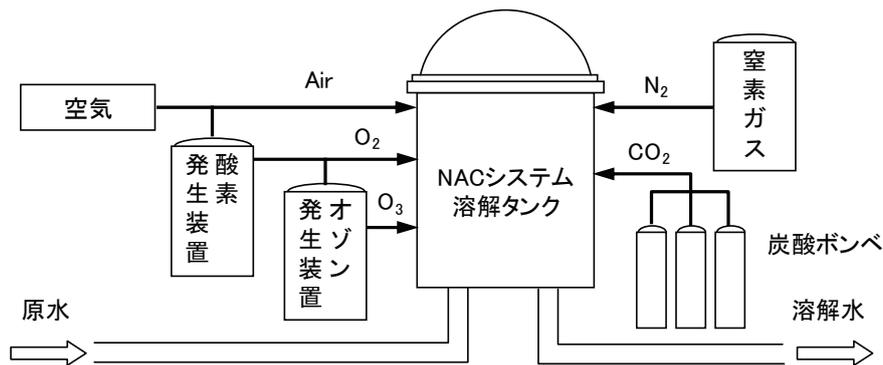


図 5. 3 6 高効率気液混合装置の基本フロー¹⁰⁾

(b) 高効率気液混合装置の浄化機構

NAC システムを用いた浄化機構として以下のものがあげられる。

① DO 改善による富栄養化水域の改善

図 5. 3 7 に DO 改善による富栄養化水域改善の概念図を示す。空気または酸素注入により湖沼、貯水池および流入河川水中の DO を高く保持することによって、富栄養化水域の底泥表層が好気化され、有機物の好気化分解、リンの溶出防止、窒素の好気化および嫌気性脱窒が促進する。期待される結果として、BOD や COD、窒素、リン濃度の低下、臭い、色度の減少があげられる。

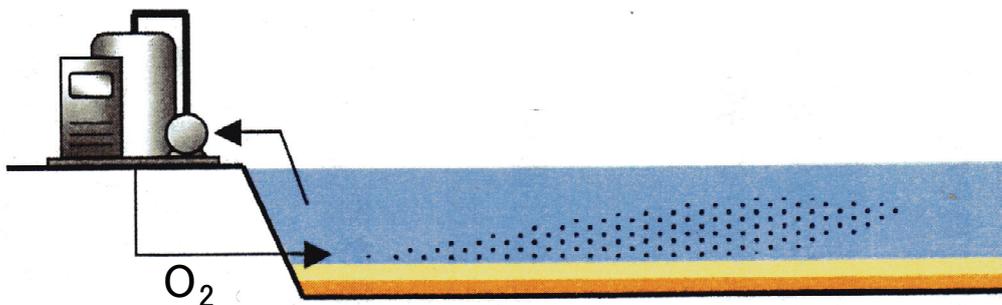


図 5. 3 7 DO 改善による富栄養化水域改善の概念図

② オゾン注入による有機物分解と植物プランクトンの発生抑制

図 5. 38 にオゾン注入による有機物分解と植物プランクトン発生抑制の概念図を示す。酸素注入では分解が不十分な臭いや色度成分などの有機物を適切な濃度のオゾン注入によって分解除去する。また、アオコなどの植物プランクトンの細胞をオゾンで破壊し、植物プランクトンの大発生を抑制する。さらに井戸水に多量に含まれる鉄、マンガンをおゾンで酸化して濾過槽で除去し、水資源として有効利用することが考えられる。いずれの場合でも被酸化物濃度に消費されるオゾン量のみ混合することで排オゾンの発生を抑えることができる。

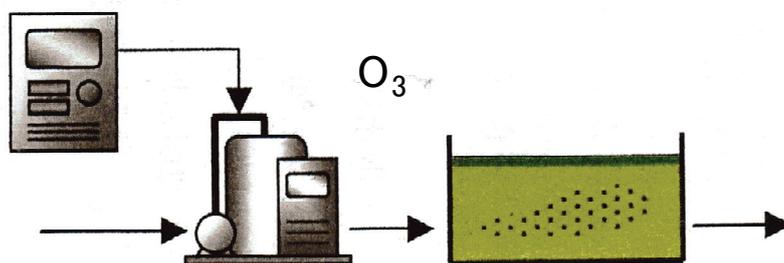


図 5. 38 オゾン注入による有機物分解と植物プランクトン発生抑制の概念図

③ 炭酸ガス注入による高 pH 値の調整

図 5. 39 に炭酸ガス注入による高 pH 値調整の概念図を示す。混合濃度を制御して気泡をつくらずに炭酸ガスを効率よく注入し、植物プランクトンの大発生した結果生じる水道原水の高 pH 値を調整する。炭酸ガスは水道水に残留し、飲用されても無害であるものの、空気中に発散すれば地球温暖化問題につながる懸念があるため、これが生じないように水道原水に混合する。

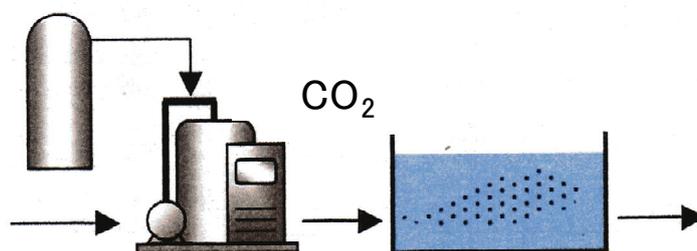


図 5. 39 炭酸ガス注入による高 pH 値調整の概念図

④ 生物処理装置への DO 供給の効率化

図 5. 40 に生物処理装置への DO 供給効率化の概念図を示す。環境用水域の水質保全を達成するために事業者はこれに放流する下水処理水、し尿処理水、工場排水処理水など

の水質水準を高めている。これらの処理に用いられている活性汚泥法や接触酸化法などでは、多量の酸素が消費されるのに十分な DO 供給が必要であり、このために多大な設備とエネルギー費がつぎ込まれている。NAC システムの使用により、エネルギー費の節約が期待できる。

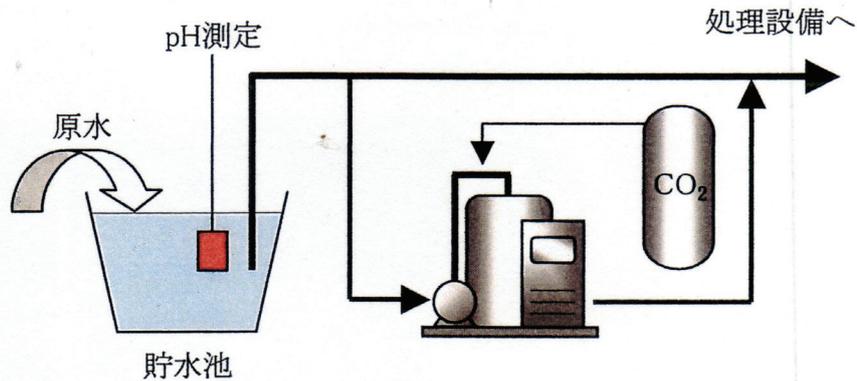


図 5. 4 0 生物処理装置への DO 供給効率化の概念図

⑤ 加圧浮上による浮遊物質の除去

図 5. 4 1 に加圧浮上による浮遊物質の除去の概念図を示す。NAC システムから発生するマイクロサイズの微細な気泡は、浮遊物質に付着して浮上させる能力がある。これを利用して、必要に応じて凝集剤を併用して、湖沼、貯水池に発生する植物プランクトンなどの浮遊物を浮上分離して除去する。

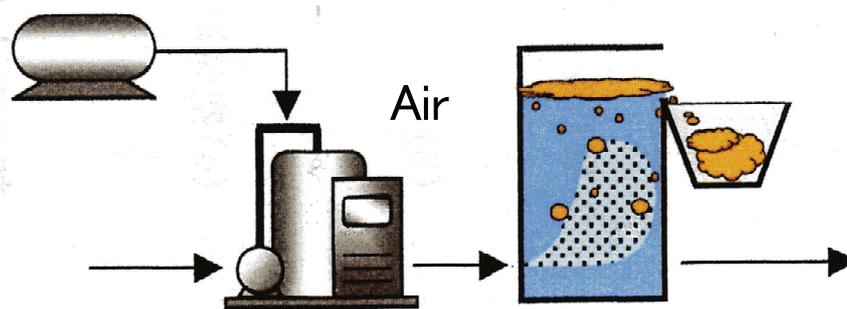


図 5. 4 1 加圧浮上による浮遊物質の除去の概念図

(c) 高効率気液混合装置の適用事例

表 5. 1 2 に NAC システムの実際の施設への適用および実証試験の事例を示す。実際の施設への適用では、そのほとんどにおいて良好な結果が得られている。

表 5. 1 2 高効率気液混合装置の代表的な適用事例

浄化機構の分類	① DO改善による富栄養化水域の改善	② オゾン注入による有機物分解と植物プランクトンの発生抑制	③ 炭酸ガス注入による高pH値の調整	④ 生物処理装置へのDO供給の効率化	⑤ 加圧浮上による浮遊物質の除去
代表的適用事例 (実証試験を含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・H廃棄物処分場 ・T池 ・S湖 ・E河口堀 ・H遺跡内環濠 	<ul style="list-style-type: none"> ・Nダム(浮上分離を兼ねる) ・K公園 ・K公園 ・Gダム ・Y牧場 ・O酪農排水設備 ・J畜産糞尿排水設備 ・H澱粉工場排水設備 ・Oジュース工場排水設備 ・O焼酎工場排水設備 	<ul style="list-style-type: none"> ・S浄水場 ・H浄水場 ・Oトンネル工事 	<ul style="list-style-type: none"> ・T浄水場 ・O工事 	<ul style="list-style-type: none"> ・Nダム(オゾン溶解を兼ねる) ・H食品加工工場 ・Oペットボトル資源化工場 ・K食品工場 ・S公園池 ・M城お堀 ・Y食品加工工場 ・O染色排水処理設備

次に、このなかのNダム湖においてダムの濁りを改善した事例について示す。Nダムは総貯水量 230,000m³ の洪水調節・河川維持用水を用途としたダムで、ダム湖の濁りや藻類（アオコ）の発生が問題となっていた。用いたNACシステムはオゾン溶解用のNAC-1500-O3(処理水量100m³/h、オゾン量100g/h)と藻類浮上分離用のNAC-320-SDの2基である。処理手順は、図5.42に示すように、①NAC-1500-O3でオゾンにより水中の藻類を分解、②凝集剤で懸濁物質（分解した藻類など）を凝集、③凝集した懸濁物質（スカム）は加圧浮上槽においてNAC-320-SDで発生させた微細な気泡により浮上させて回収、④酸素を多く含んだ処理水を湖底に送り、底質改善（リンの溶出抑制）を行うものである。図5.43にダム湖と採水位置平面図を示す。写真5.10に本事例でのNACシステムの設置状況を示す。

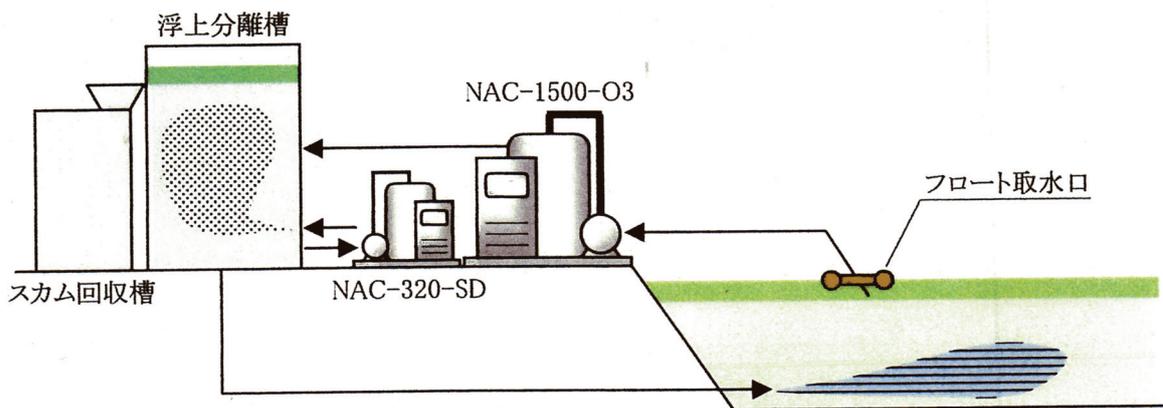


図 5. 4 2 システムフロー

NAC 運転開始前の水質は、BOD で 32ppm、COD で 38ppm、SS で 62ppm、T-N で 3.5ppm、T-P で 0.20ppm であった。水質改善目標値は、BOD で 10ppm、SS で 20ppm である。システムは 2001 年 3 月 26 日に運転を開始した。図 5. 4 4 に採水ポイント①での BOD、COD、SS、T-N および



図5. 43 ダム湖と採水ポイント

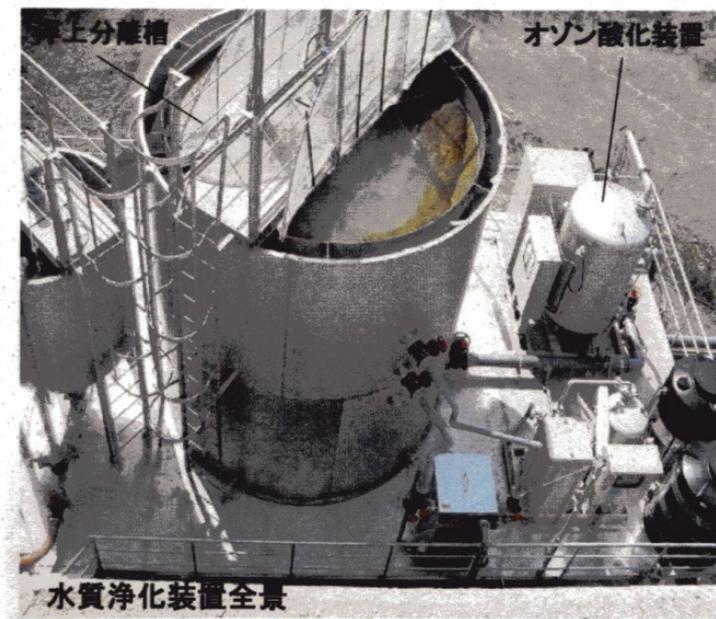


写真5. 10 Nダム湖に適用した高効率気液混合装置

T-P の2001年3月26日から1年後(2002年3月14日)までの変化を、また、表5. 13に採水ポイント①で採水した水の1年後および4年後の試験結果を示す。これらより、運転開始より水質の改善が急速に進み、特にBODとSSは目標値を2ヶ月でクリアした。また1年後、4年後も改善後の数値を維持して安定したものであった。なお、採水ポイント②と③の2001年6月5日と同様12月26日の採水の試験結果は①と同程度の数値であった。また、透視度について、当初ポイント①でおおよそ20cmであったが、同年12月26日の観察では約85cmになっていることが確認された。

以上により、ダム湖の水質は大きく改善されて全体で浄化が進んでいると推察され、NACシステムの有効性が示された。

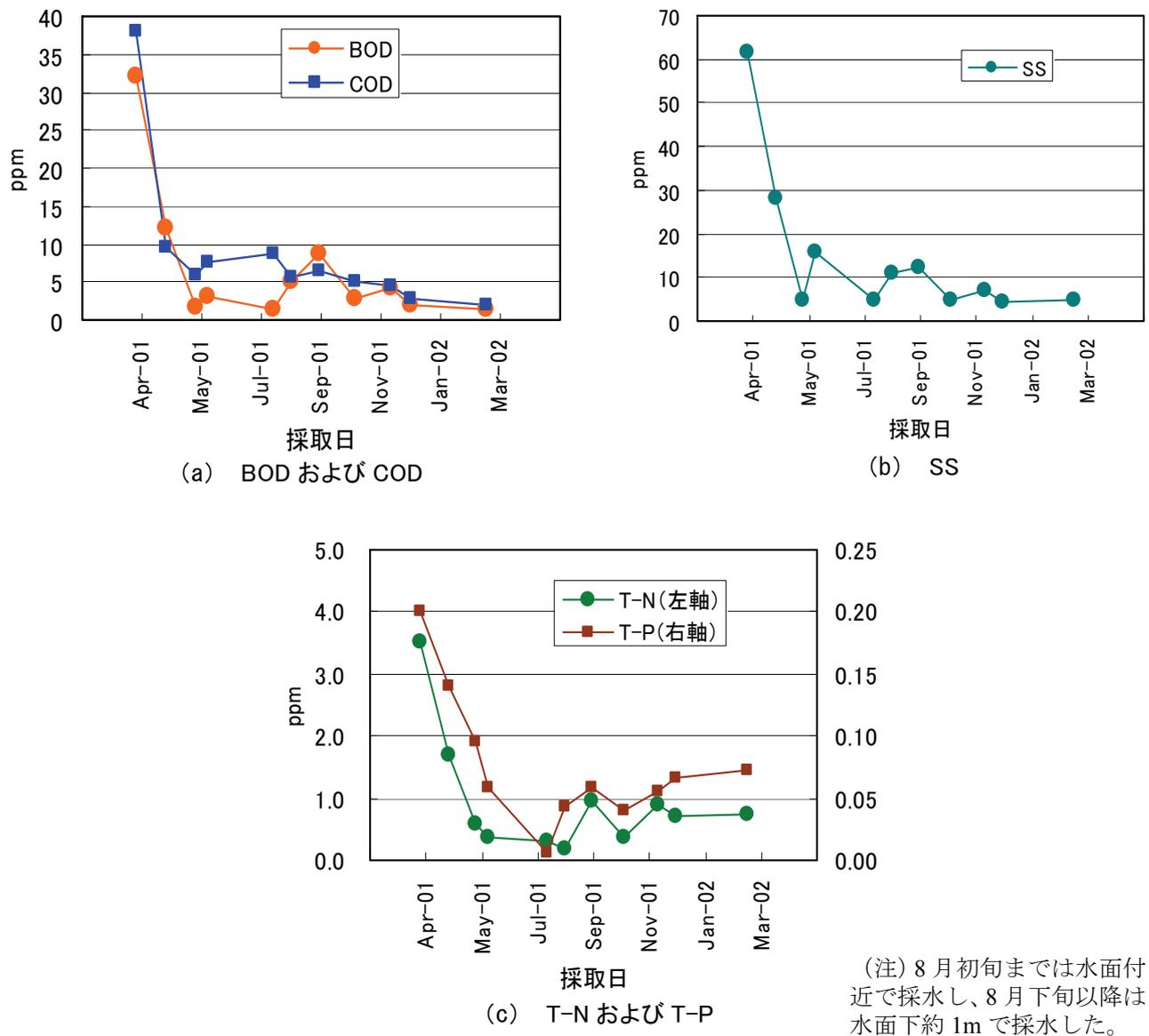


図5. 4.4 水質試験結果 (1年後まで)

表 5. 13 水質試験結果 (4 年後まで)

採水日	原水	1年後		4年後	
	2001年3月26日	2002年3月14日	2005年9月1日	2002年3月14日	2005年9月1日
	分析値 (ppm)	分析値 (ppm)	除去率 (%)	分析値 (ppm)	除去率 (%)
BOD	32	2.0	93.8	1.6	95.0
SS	62	4.0	93.5	5.0	91.9
COD	38	2.2	94.2	4.1	89.2
T-N	3.5	0.69	80.3	0.32	90.9
T-P	0.20	0.071	64.5	0.030	85.0

(3) 5. 6のまとめ

本節で取り上げた NAC システムは水域に気体をその飽和度以上に溶存させることができるため、従来の装置と比較して、気体使用量が少なく、また気体混合に必要なエネルギーの効率がよい特徴を持っている。すでにいくつかの施設に適用されているが、運用を開始したところである。このため、今後、改善効果を実証する観測を行っていく必要がある。

水の汚染は世界中の至るところで発生し、特に発展途上国において深刻である。わが国では、発展途上国ほどの被害程度ではないとはいえ、水は我々の社会生活に欠かすことのできない重要な資源であるため、これまで以上にその健全性を常に監視し、保持しなければならない。また、個別事案の汚染状況、調査・対策の方法と結果を分析し、水質汚染の監視システム、調査技術、浄化技術の改善に活用する取り組みが必要である。

第5章の参考文献

- 1) 富松義晴, 三輪滋, 濱田政則: 社会史より見た土木の検証と新たな展開, 土木学会論文集 F5(土木技術者実践), Vol.68, No.2, pp.63-73, 2012.11.
- 2) 久保田雅春, 秦一平, 石丸辰治, 新谷隆弘: 増幅機構を用いた制震構造システムに関する研究, 第10回日本地震工学シンポジウム, pp.31-34, 1998.
- 3) 坂本昭夫: 残存地下空洞による地盤の変状とその対策に関する研究, 早稲田大学博士論文(とびしま技報別冊14号), 147pp., 2007.3.
- 4) 富松義晴: 自然環境再生への土木技術者の役割—土木分野における木材利用のすすめ—(特別講演論文), 木材利用研究論文報告集10, 土木学会木材工学特別委員会, pp.1-4, 2011.8.
- 5) 富松義晴, 沼田淳紀, 三輪 滋, 濱田政則: 土木技術者の役割の再考と木材利用の提案, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, 共通セッション, pp.31-32, 2011.9.
- 6) 富松義晴, 沼田淳紀, 濱田政則, 三輪滋: 土木事業における木材利用による地球温暖化防止お

- よび林業再生への貢献，土木学会第 19 回地球環境シンポジウム講演集，pp.51-56，2011.9.
- 7) 富松義晴，沼田淳紀，濱田政則，三輪滋，本山寛：持続可能社会へ向けた土木事業における木材利用の提案，土木学会論文集 F4(建設マネジメント)，Vol.68，No.2，pp.80-91，2012.7.
 - 8) 本山寛，沼田淳紀：小型振動実験による間伐材打設間隔と液状化対策効果，土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集，共通セッション，pp.19-20，2011.9.
 - 9) 羽原啓司，笹木弘，村田治，佐藤暁生，足立寛一，伊藤秀幸，中辻浩一：DCR 脱ハロゲン化技術によるダイオキシン類汚染地盤修復の実証試験，第 38 回地盤工学研究発表会講演集，pp.2337-2338，2003.7.
 - 10) サワテック株式会社：NAC システム，<http://www.sawatec.co.jp/nac.html>，(2011.08.31 引用)。
 - 11) 田代和広，谷口武，名取祥一，平田あい子，加島秀康：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震におけるトグル制震補強建物の状況調査，とびしま技報，No.60，pp87-90，2011.9.
 - 12) 池田隆明，高瀬裕也，妹尾嘉章，阿部良洋，舟木尚己，守研二，佐々木清，鈴木幸一：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震における仙台市役所本庁舎のトグル制震補強効果の確認，とびしま技報，No.60，pp81-85，2011.9.
 - 13) 釜江克宏，川辺秀憲：2011 年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の震源のモデル化（強震動生成域）（第 1 報），<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/jishin/eq/tohoku1/Tohoku-ver1-rev20110601.pdf>（平成 23 年 7 月 22 日参照）。
 - 14) 産経ニュース，<http://sankei.jp.msn.com/affairs/photos/110311/dst11031115420022-p1.htm>（平成 23 年 7 月 22 日参照）。
 - 15) 太田良巳，アイダンオメル，杉浦乾郎，坂本昭夫，山田紀利：地震による亜炭廃坑の破壊形態とその安定性の評価，第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム講演会論文集，pp.57-62，2006.1.
 - 16) 太田良巳，アイダンオメル，杉浦乾郎，坂本昭夫，山田紀利：亜炭廃坑の地震時における安定性と破壊形態，第 17 回中部地盤工学シンポジウム論文集，pp.67-76，2005.8.
 - 17) Ömer AYDAN, Hisataka TANO: The Damage to Abandoned Quarries and Mines by The M9.0 East Japan Mega Earthquake on March 11, 2011, 土木学会地震工学委員会 Web ページ，2011 年東北地方太平洋沖地震の情報，http://www.jsce.or.jp/committee/eec2/eq_report/201103tohoku/Aydan2.pdf，2011.4.
 - 18) 一般社団法人 充填技術協会編：新版 空洞充填調査施工マニュアル，一般社団法人 充填技術協会，pp.3-22，2010.10.
 - 19) 濱田政則，鈴木明人，岩楯敏広，榊原淳一，志毛宏次，杉戸真太，渡邊健，三輪滋，村山秀幸，小田義也：御嵩町亜炭鉱廃坑の危険度に関する予備調査 報告書，早稲田大学 御嵩町亜炭鉱廃坑の危険度に関する調査・研究会，pp.204-225，2003.2.
 - 20) 濱田政則，八嶋厚，川本朧万，青木治三，杉戸真太，アイダン オメル，坂本昭夫，大野孝二：

- 平成 17 年度 御嵩町亜炭廃坑の地震時被害予測と対策に関する検討 要約版, 御嵩町・御嵩町
亜炭廃坑地震対策専門委員会・亜炭鉱廃坑の危険度に関する調査研究会, pp.5-22, 2006.3.
- 21) 太田猛彦：かつて地下資源は地表にあった一温暖化時代における木材利用の意味を問うー,
CE 建設業界, pp.18-19, 2004.4.
- 22) 外崎真理雄：環境材料としての木材, 木材工業, Vol.54, No.11, pp.511-515, 1999.11.
- 23) 農林水産省：森林・林業再生プラン～コンクリート社会から木の社会へ～, 2009.12.25.
- 24) 三浦哲彦, 呉文経, 中村六史, 一瀬智郎：軟弱粘土中杭の周面支持力機構に関する実験的考
察, 土木学会論文集, No.517/III-31, pp.63-72, 1995.6.
- 25) 沼田淳紀, 本山寛, 桃原郁夫, 長尾博文, 濱田政則, 吉田雅穂：間伐材打設による液状化対
策の小型振動実験の方法, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 共通セッション,
pp.17-18, 2011.9.
- 26) たとえば, 地盤工学会編：地盤工学・実務シリーズ 15 土壌・地下水汚染の調査・予測・対策,
地盤工学会, pp.1-20, 2002.5.
- 27) F.Bölsing：Dispersing by Chemical Reactions Remediation Technology, Remediation Engineering of
Contaminated Soils, Marcel Dekker, Inc., pp849～929, 2000.7.
- 28) たとえば, 平田健正：地盤環境汚染のメカニズム解明から最新技術開発まで, 土と基礎, 第
52 巻, 第 10 号, pp.1-5, 2004.10.
- 29) たとえば, 楠田哲也：深刻化する水質汚染, 土木学会誌, Vol.87, No.3, pp.15-17, 2002.3.

第6章 結論

本論文は、文明論からみた新しい土木の在り方について、著者の土木技術者及び土木界のゼネコンの経営者の経験から得た知見を纏めた論文である。とりわけ、土木界を取り巻く閉塞感さらには土木事業や土木技術者に対する社会的評価の低さと土木技術者の自信喪失の根源は何なのかを明らかにし、土木技術者の目指すべき方向を探ることを目指して論述してきた。

第1章では、この論文の研究目的と構成を示した。本論文は、トンネル技術者として自然と向き合い格闘した約20年間の体験と、後半十数年の企業経営者として土木界に身を置いた経験を踏まえ、社会の変化の中で、現在の土木界を取り巻く閉塞感の真の要因を検証し、その打開策と次代の方向性を明らかにすることを目的としている。

論文の構成は、第2章で歴史の中で土木がどのように社会とかがわってきたかを、第3章で土木界を取り巻く状況を、第4章で土木技術者の役割と新しい土木のあり方を、第5章で真の土木技術者を目指して著者が取り組んだ、具体的な技術開発と普及について論述し、第6章で結論づけるという構成である。

第2章では、我々土木技術者が自負している“世の為、人の為の仕事”との思いと、世間の土木界に対する嫌悪感にも似た低評価のギャップを土木事業の歴史の中で検証した。

土木史の研究、報告はほとんどが事例研究や人物史、構築物の解析である。本論文は、民衆の生活の中で土木事業が誰によって、どのような目的で企画され、それは民衆に喜ばれるものであったかといった視点で眺めたものである。特に時代区分を民衆の生活様式や価値観の転換期を基準とした。13世紀末までは各地域の豪族の権威の象徴や富の蓄積の為に巨大古墳や大寺院が築造され、貨幣経済が浸透し支配層と一般民衆の貧富の差が拡大してくると、貴族や大寺社の勢力拡大の為、免田の開発や港湾などの大型土木事業が行われた。14世紀以降も新田開発や大土木工事は領主や大富豪の商人などにより彼らの蓄財を目的に行われた。封建社会までの土木事業は生活の安全と質の向上はあったにせよ民衆の過酷な労務提供と権力者の権威の誇示、富の蓄財さらには格差を助長する基盤になった面を示した。

一方、明治前の土木事業は、自然を畏怖し自然と折り合いをつけながら共生していくという日本の自然観をもって築造され、自然生態系の再生に気を配りながら行われた事を述べた。

明治以降我が国は富国強兵の旗印の下、ヨーロッパ文明を丸のみで取り入れ社会資本の整備や科学技術を急速に進展させ、土木技術者も大きな役割を果たした。しかし、満州への進出時に明らかのように、当時の土木技術者の多くは技術を発揮できることだけを思う土木専門家であり、けっしてシビルエンジニアではなかった事を明らかにした。

第2次世界大戦後、民主国家として復興を果たし社会基盤の整備も機械技術の進歩と相まって急速に進展した。特に1960年以降高度成長を遂げた我が国は目を見張るほどの生活の豊かさと便

利さ、安全を手に入れた。しかし反面、地域や人々の格差が広がり、自然再生の循環を破壊してきた事を述べた。

明治以後、ヨーロッパ近代科学技術だけを取り入れ、公共という概念とその思想を無視して殖産興業にまい進した我が国は、第2次世界大戦後一転して公=国家・権力と私=個人を対立した関係としてとらえ公共事業は政府のやるべきこととして、個人にとって得であるか損かが評価の基準となっているとした。

第3章では、土木界を取り巻く状況の具体的内容の関連について示し、我が国の土木界が陥っている閉塞状況の根源は、1) デカルト哲学を指導原理とする近代ヨーロッパ思想の支配と、2) 明治以降、公共哲学について論じられることなく、高度成長期を通じ、古来からの社会的合意システムが崩壊し、公共概念が欠如していることであるとしている。

デカルト哲学を基礎とした近代ヨーロッパ文明は、機械文明であり、力の文明であること、この文明のもと、急速な技術の進歩と繁栄がもたらされたが、半面、生態系の破壊や環境問題を引き起こしたこと、そして、社会から、その先兵が公共事業であり、土木技術者であると糾弾されていることを述べた。

また、我が国における公共哲学の萌芽は、江戸時代の横井小楠などの思想にみられたが、明治憲法と教育勅語では、個人の尊厳が軽視されたことから、公共という概念について社会の中での議論が成立する機会を失ってしまった。第2次大戦後、個人の権限が憲法に謳われたが、極端な個人の利益偏重が蔓延し、ますます公共の概念が喪失されるに至っていることを述べた。一方で、我が国の公共事業における合意形成の困難さの原因については、公共についての国民的思想の形成がないまま、1960年以降急速に進行した“地縁”の崩壊であるとした。

この様な、根源的な要因により、①土木事業による環境負荷の増大、②技術者倫理の欠如、③リーダーシップの欠如、④公共哲学の欠如、⑤談合、贈収賄など土木事業そのものへの批判、⑥利益追求至上の公益性不在などの、土木事業の閉塞感や、土木技術者の自信喪失の具体的な負の事象が顕在化するに至ったとした。これらの事象に起因して、土木に対する社会的評価の低落、公共事業費の大幅削減につながっていることを明らかにした。

さらに、土木事業は多数の合意と長期にわたる評価に耐えるものでなければならず、事業の企画者、実施者、土木技術者は真の公共哲学と高い倫理観が求められるが、社会の、土木界や土木技術者に対する厳しい批判は、これらが欠けていることを指弾したものであり、我々は、この事実を認めることから始めなければならないとしている。

第4章では産業革命以降、人類は化石燃料を無制限に大量使用したことで、再生不能を予感させるほどまで、自然生態系の破壊を進行させてしまい、さらには、地球規模の温暖化、森林喪失、砂漠化などが自然災害の多発を招いていることを述べた。これらの問題に対処できるのは土木技術であり、土木技術者であるとした。土木技術者が自然環境を復元し、生活の質と安全・安心を

担保するには、近代ヨーロッパ哲学に代わる科学技術をコントロールする新しい思想を持って、土木技術をさらに進化させ新技術を開発することが必要であるとしている。また、この新しい思想として、自然は支配するものであり、人間のために改変されるものとする西欧的自然観を排し、自然との折り合いを大切にする日本人の自然観に立ち返るべきであるとした。

さらに、現在の公私観（公領域と私領域を明確に区分し基本的人権にかかわる個人の領域を極端に保護した考え方。公私二元論といわれている。）は個人、企業のなりふり構わぬ利益追求が、合理的かつ効率的に行われていけば正当化されるが、そこには公共性についての認識が極めて薄い。今後の公共事業は、公平（正義）、平和、福祉を理念とした公共善が担保されなければならないとした。そのためには、専門家による中立的な中間団体を作り“公開”と“討論”により公共性が担保されることが望ましいと提案した。

これまでの提案を踏まえ、土木の目標を「生態系の復元と人工生態系の循環をベースとした持続可能社会」の確立と「地域の特性に合いかつ公共性が担保された安全・安心社会」の実現とし、そのロードマップを示した。さらに、著者の考えの具体的な施策として“すべての生命を尊び、自然に対し謙虚であり、高い倫理観と工学者としての良心”を実現することを目標に、地球環境問題と自然災害の軽減に取り組んだことを述べた。

第5章では、土木技術者のあるべき姿を実現するべく、具体的に、著者自らが建設業経営者の立場で経営上の重点施策として、土木再生に向けた安全安心社会構築のための技術開発とその普及について述べた。まず、地球を再生させるためには環境負荷低減技術が必要であり、公共の視点でこれに取り組むことができるのは土木技術者で、土木技術者はそれが責務であること、地球規模の視点から、自然災害軽減、環境負荷軽減を地球環境問題としてとらえ、その主な要素として、自然災害軽減では建物・空洞・地盤を、環境負荷低減では大気・土・水を挙げた。そして、著者が建設業という企業の経営者として、これらの問題を解決する責務を認識し、今後の建設業の新しい形を作り上げるため、これらに関する技術開発と普及を企業の施策として推進したことを述べた。その具体的取り組みとして、それぞれ、建物に対しては制震技術、空洞に対しては空洞充填技術、地盤に対しては木材利用による軟弱地盤や液状化地盤対策技術、大気に対してはCO₂削減のための土木工事における木材利用の提案、土に対しては土壌汚染対策技術、水に対しては水質汚染対策技術について述べた。このうち木材利用は、軟弱地盤や液状化地盤対策を行いつつ、CO₂削減をはたす災害軽減、環境負荷低減の両方に寄与する技術である。

地震に対する安全性確保は、日本にとっては最重要の課題である。我々は建物の耐震対策を重要課題と位置付けた。増幅機構付き制震構法「トグル制震構法」は、建物に入った地震時のエネルギーを増幅機構のある制震装置で吸収することで、建物を守るだけでなく、その内部の機能も維持することを、比較的安価に実現することを目標として開発し、広く普及を図っている技術であり、ここでは、その開発や普及の考え方について述べた。さらに、2011年東北地方太平洋沖地

震で震源に近い東北 6 県および震度 5 弱以上が観測された地域にあるトグル制震装置の設置された建物を対象に、建物および制震装置の調査・点検、建物使用者へのヒアリング調査を実施し、全ての建物においてトグル制震装置および取り付け部には不具合がないこと、構造部材には補修が必要な被害がないことを確認した。また、補強建物のうち地震観測を行っている仙台市役所本庁舎では、観測記録とそれを用いた地震応答解析結果から、トグル制震構法による耐震補強の効果について定量的な検討を行い、補強設計目標（層間変形角）をクリアできたこと、耐震補強をしなかった場合に比べ、建物の変形を大幅に抑制していたことが明らかにした。

わが国には石炭・亜炭鉱山廃坑、戦時中の地下壕跡、地下採石場跡などの地下空洞が至る所に放置され、採掘を終えて 40 数年が経つ今日においても、地表面の陥没や構造物の沈下・傾斜などの被害（鉱害）が年平均約 20 件も発生している。さらには、東海・東南海地震の発生がせまり、内陸活断層の地震の危険性も指摘されるなか、これらの地震の影響で残柱や坑道天盤が広範囲にわたって大崩壊を起こし、人命や財産に重大な損失を与えることが懸念されている。著者らは、この空洞の安全対策を重要課題と位置付けておこなった、空洞充填工法の開発について述べた。このうち流動性充填工法は名古屋通産局が主体となって開発された技術であるが、その後、著者の主導で開発した限定充填工法を加えることで多様な空洞条件にも対応可能となり、また充填材の製造や品質管理方法も体系的に整備できたことを述べた。最近では充填対象範囲の周囲への配慮などから本工法を採用する場面が多くなり、これまでに 17 件、総充填量約 13 万 m³の施工実績を積み重ねていることを述べた。

東北地方太平洋沖地震で、関東地方の広域で液状化が発生し、液状化対策などの地盤対策に必要性が改めて浮き彫りとなった。著者らは、軟弱粘性土地盤対策、液状化対策を重要課題と認識した。また、木材の CO₂ 吸収固定の効果や日本の森林資源の有効活用にも注目し、これらの防災面・環境面での効果を同時に達成する木材を利用した地盤対策の開発を進めた。木材は大気中の二酸化炭素を吸収固定したもので、健全な林業経営が行われている限り、木材の利用拡大と長期利用が地球温暖化防止対策として有効である。木材を土木資材として使用する場合の最大の課題のひとつが腐朽であるが、木材を地中の地下水位変動域下限以深で使用した場合には木材は 100 年は優に超える耐久性があり、このような環境下である軟弱粘性土地盤対策や液状化対策として木材を利用することが有効である。このように利用した場合、木材による省エネ効果だけではなく炭素貯蔵効果があり、工事による二酸化炭素排出量よりも木材による炭素貯蔵量の方が大きく、地産地消とすることで工事が温室効果ガス削減に貢献できることを実大実験により実証した。さらに、軟弱粘性土地盤対策として十分な支持力を持つこと、液状化対策として機能することを示した。

土壌汚染問題は法整備の進展とともに個別事象に対する調査や処置も行われ、環境整備が整ってきた側面もあるが、今なお重大な汚染問題が発覚することがある。このことはこの分野では依

然として多くの課題が残っていることの証左といえる。土壌は我々の日常生活を支える基盤である。われわれ土木技術者は将来の安全・安心で持続可能な社会の確立を目指す意味からもこれらの課題に対峙し、必要な施策を講じていく必要がある。近年、焼却施設などから発生するダイオキシン類の汚染が注目されているが、本論では特にその浄化技術として有効な金属ナトリウムによる脱ハロゲン化技術を取り上げ、実証試験による検証過程を示した。

水は我々の社会生活に欠かすことのできない重要な資源であるにもかかわらず、水質汚染は世界中の至るところで発生する深刻な社会問題になっている。わが国における水質汚染も産業の形態変化と拡大、生活水準の向上や人口増加による排出量の増加などにより多様に変化している。一般に、水の交換性が悪い湖沼や貯水池などの閉鎖水域の産業排水や家庭廃水が流入するところでは、有機物濃度や栄養塩類が高い値となり、汚濁が進み、さらにプランクトンが大量発生して有機物の生産と底泥生成が多くなり、富栄養化が問題となっている。特にその対策に用いられてきた散気管による曝気などの浄化装置はエネルギー効率とコストの面で課題があった。本論では高効率気液混合装置を用いた浄化システムを取り上げ、その実験結果をもとにこれらの課題を改善する性能の検証過程を示した。

以上、本論文では、土木界の内部から土木事業の負の側面を新しい角度から歴史的に検証し、真摯に反省することで土木の復権を期待した。今後土木技術者が総合的な知見のもと、新しい地球環境技術開発にリーダーシップを発揮して人類継続の責任を果たし社会の信頼を取り戻すことを願っている。

あとがき

平成13年4月、一土木技術者の著者は突然経営を担うことになった。当時、弊社はバブル崩壊の影響を最も深刻に受け、再建計画も軌道に乗らず、世間からは倒産期待企業として一身に注目を浴びている真ただ中であつた。しかし此の事が、否応なしに、広く異業種のトップの方たちをはじめ多彩な人たちと接触を持つ機会が増える契機となった。特に、資金面で多大な支援をもらった銀行業界、朝夕自宅前で倒産の時を聞きこもうとして待っているマスコミ関係者、建設アナリストの方たちとは時間が経つと共に親しく話せる間柄になっていった。こうした中で、世間一般の人が土木事業や土木技術者に対し極めてネガティブなイメージを抱いている事を知った。

現場で働く多くの土木技術者は、自らの手掛ける構築物に最高の品質を追求し、出来上がった構造物が社会の役に立ち、人々に安心と安全を保証する事を信じ、仕事に邁進している。彼らに対する一般社会の評価がなぜこれほど悪いのか？此れでは、日本を豊かにし便利にしているという誇りを持って真剣に働いている土木技術者は浮かばれない。土木技術者のことを知り、彼らに対する世間の評価も身にしみて知らされた著者には、土木界と土木技術者に対する悪いイメージの真の要因を解明し、これからの土木技術者の目指すべき道を提示する事が使命であると痛感した。この様な想いを抱きつつ経営の一線を退いた折に、早稲田大学の濱田先生から、“あなたの土木技術者としての現場の体験や、瀕死の会社の経営者としての経験を踏まえて、現在の土木の閉塞感を打破するために何か提言すべきだろう”との叱咤で無謀にも本論文の執筆を始めた。

温故知新。まず、土木事業と土木技術者が、古代から現代にいたる民衆の中で、どのような位置付けであつたかを調べることから着手した。その中で、土木界内部では称賛されている土木事業や土木技術者たちが、本当の意味で民衆の為になつたのか？との疑問が生じてきた。本論文では、土木の偉大な先達に対し、やや皮肉な目を向けたかもしれない。しかし、我々があまりにも過去の土木技術者に対し自画自賛している現状からは、土木技術者に対する悪評は何ら変わらないことを痛感し、あえて負の側面を強調したものである。更に、我が国におけるもっとも輝かしい歴史の転換だと認識されている明治維新が、近代ヨーロッパ文明と、その指導原理であるデカルト哲学の丸ごとの導入により、今日の科学文明の行き詰まりと、地球規模の環境破壊に至つた事を知った。又、明治以降、強力な中央集権国家が形成される過程で、真の意味の公共に対する思想が確立してこなかつた事は、土木事業について、如何に広報しても正当な評価が受けられない要因の一つであるとの理解も得た。

論文としての骨子が見え始めたころ、2011年3月11日東日本大震災が発生した。この大災害については、各界の様々な立場から多くの論評がなされている。ここでは、本論文の論旨に沿って触れておきたい。

まず、震災前の防災の観点からは、従前であれば、設計計算上不明な部分や、発生確率が低い事象には、安全率を高めることでカバーしていたが、近年の経済合理性を至上とする市場経済の風潮の中では、その事は、想定外として処理してしまっていた。この様な、昨今の行き過ぎた合理主義や効率主義に支えられた市場原理主義により多くの命が失われたともいえる。

次に震災が起こった後の対応をみると、当初の“絆”から一年後の“自己と他者の利害”が色濃く現れ始めたように思われる。このことは、本論文の一つのテーマである公共哲学の未成熟と過度な個人主義の蔓延によるものと思われる。

本論文が、土木技術者が表層に現れた現象だけにとらわれることなく、現在の文明を支えている指導原理まで議論し、新たな土木の幕開けの為のわずかな契機になれば幸いである。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、多くの方々から懇切丁寧なご指導とご支援を賜りました。

早稲田大学創造理工学部教授 濱田政則先生には、お仕事が超過密にもかかわらず、長期にわたり常に温かい励ましとご指導をいただきました。

宇都宮大学名誉教授 長谷部正彦先生、早稲田大学創造理工学部教授 依田照彦先生、早稲田大学創造理工学部教授 赤木寛一先生にはご多忙の中、論文全体の査読と論文改善のための貴重なご助言をいただきました。

本論文の骨格がまとまりかけた時期に、名古屋大学名誉教授 川本朧万先生にはお忙しい中、詳細な査読を快く引き受けていただき、貴重なご意見とご指摘を論文に反映する事が出来ました。また、東海大学教授 藍檀オメル先生には、土木学会論文集への投稿論文等について、査読および懇切なご教示をいただきました。最後の仕上げの段階ではお忙しい中、北海道立総合研究機構 丹保憲仁先生に全般にわたりきめ細かに査読をしていただき、本論文の弱点や現代社会の直面している問題の根源について等の貴重なご意見を参考にさせていただきました。

飛島建設株式会社の篠部正博氏、三輪滋氏、杉浦乾郎氏、坂本昭夫氏、沼田淳紀氏には本研究の着手時から資料の収集、論文の構成、討議への参画等あらゆる面での支援を頂戴しました。

5章における技術開発の各種データは、飛島建設株式会社のトグル制震、空洞充填、木材の土木利用、土壌汚染対策、水質汚染対策の各専門技術分野の皆さんに提供していただきました。特に元サワテック株式会社社長 澤田様からは NAC システム技術開発の成果などの貴重な情報の提供をいただきました。

そのほか本論文を執筆するに当たり、お名前を挙げた皆様以外にもたくさんの方々からデータの提供やご指導・ご支援をいただきました。心より感謝申し上げます。有難うございました。

付録1 日本の墳径135m以上の巨大古墳(第2章の参考文献16)を参考に作表)

順位	古墳名	所在地	時期	区分	墳丘長(m)	参考
1	大仙陵古墳	大阪府堺市大仙町	中期	前方後円墳	486	仁徳天皇陵
2	誉田御廟山古墳	大阪府羽曳野市誉田	中期	前方後円墳	425	応神天皇陵
3	石津ヶ丘古墳(履中陵古墳)	大阪府堺市石津ヶ丘	中期	前方後円墳	360	履中天皇陵
4	造山古墳	岡山県岡山市新庄下	中期	前方後円墳	360	
5	河内大塚古墳	大阪府松原市西大塚・羽曳野市南恵我之荘	後期	前方後円墳	330	
6	見瀬丸山古墳	奈良県橿原市見瀬町・五条野町・大軽町	後期	前方後円墳	310	
7	渋谷向山古墳	奈良県天理市渋谷町	前期	前方後円墳	300	景行天皇陵
8	土師ニサンザイ古墳	大阪府堺市百舌鳥西之町	中期	前方後円墳	290	
9①	作山古墳	岡山県総社市三須	中期	前方後円墳	286	
9②	仲ツ山古墳	大阪府藤井寺市沢田	中期	前方後円墳	286	仲津媛皇后陵
11	箸墓古墳	奈良県桜井市箸中	前期	前方後円墳	278	倭迹連日百襲姫大市墓
12	五社神古墳	奈良県奈良市山陵町	前期	前方後円墳	275	神功皇后陵
13	ウワナベ古墳	奈良県奈良市法華寺町	中期	前方後円墳	255	
14①	市庭古墳(復元)	奈良県奈良市佐紀町	中期	前方後円墳	250	平城天皇陵
14②	メスリ山古墳	奈良県桜井市高田・上之宮	前期	前方後円墳	250	
16①	行燈山古墳	奈良県天理市柳本町	前期	前方後円墳	242	崇神天皇陵
16②	岡ミサンザイ古墳	大阪府藤井寺市藤井寺	後期	前方後円墳	242	仲哀天皇陵
18	室宮山古墳	奈良県御所市室	中期	前方後円墳	238	
19	市野山古墳	大阪府藤井寺市国府	中期	前方後円墳	230	允恭天皇陵
20	宝来山古墳	奈良県奈良市尼ヶ辻町	前期	前方後円墳	227	垂仁天皇陵
21	太田茶臼山古墳	大阪府茨木市太田	中期	前方後円墳	226	継体天皇陵
22	墓山古墳	大阪府羽曳野市白鳥	中期	前方後円墳	225	
23①	西殿塚古墳	奈良県天理市中山町	前期	前方後円墳	219	手自香皇女会田陵
23②	ヒシアゲ古墳	奈良県奈良市佐紀町	中期	前方後円墳	219	磐之媛皇后陵
25	佐紀石塚山古墳	奈良県奈良市山陵町字御陵前	前期	前方後円墳	218	成務天皇陵
26	河合大塚山古墳	奈良県北葛城郡河合町西穴闇字大塚	中期	前方後円墳	215	
27①	築山古墳	奈良県大和高田市築山	中期	前方後円墳	210	
27②	西陵古墳	大阪府泉南郡岬町淡輪	中期	前方後円墳	210	
27③	太田天神山古墳	群馬県太田市内ヶ島	中期	前方後円墳	210	
30	津堂城山古墳	大阪府藤井寺市津堂	前期	前方後円墳	208	
31①	桜井茶臼山古墳	奈良県桜井市外山	前期	前方後円墳	207	
31②	佐紀陵山古墳	奈良県奈良市山陵町	前期	前方後円墳	207	日葉酸媛皇后陵
33①	コナベ古墳	奈良県奈良市法華寺北町	中期	前方後円墳	204	
33②	巢山古墳	奈良県北葛城郡広陵町三吉	前期	前方後円墳	204	
35①	茶臼山古墳	大阪府大阪市天王寺区茶臼山町	中期	前方後円墳	200	
35②	摩湯山古墳	大阪府岸和田市摩湯町	前期	前方後円墳	200	
35③	神明山古墳	京都府竹野郡丹後町字宮	前期	前方後円墳	200	
38	網野銚子山古墳	京都府竹野郡網野町字網野	中期	前方後円墳	198	
39①	鳥の山古墳	奈良県磯城郡川西町唐院	前期	前方後円墳	195	
39②	川合大塚山古墳	奈良県北葛城郡河合町川合	中期	前方後円墳	195	
41	五色塚古墳	兵庫県神戸市垂水区五色山	前期	前方後円墳	194	
42	両宮山古墳	岡山県赤磐郡山陽町穂崎・和田	中期	前方後円墳	192	
43①	今城塚古墳	大阪府高槻市郡家新町	後期	前方後円墳	190	
43②	前の山古墳	大阪府羽曳野市軽里	中期	前方後円墳	190	日本武尊白鳥陵
45	御墓山古墳	三重県上野市佐那具天王下	中期	前方後円墳	188	
46①	百舌鳥御廟山古墳	大阪府堺市百舌鳥本町	中期	前方後円墳	186	
46②	舟塚山古墳	茨城県石岡市北根本	中期	前方後円墳	186	
48	西山古墳	奈良県天理市仙之内町	前期	前方後方墳	180	
49	女狭穂塚古墳	宮崎県西都市大字三宅	中期	前方後円墳	177	
50	浅間山古墳	群馬県高崎市倉賀野町	前期	前方後円墳	173	
51	淡輪ニサンザイ古墳	大阪府泉南郡岬町淡輪	中期	前方後円墳	172	五十瓊敷入彦宇度墓
52①	百舌鳥大塚山古墳	大阪府堺市上野芝町	中期	前方後円墳	168	
52②	雷神山古墳	宮城県名取市植松宇山	前期	前方後円墳	168	
54	男狭穂塚古墳	宮崎県西都市大字三宅	中期	前方後円墳	167以上	

順位	古墳名	所在地	時期	区分	墳丘長 (m)	参考
55	甲斐銚子塚古墳	山梨県東八代郡中道町下曾根	前期	前方後円墳	167	
56①	金蔵山古墳	岡山県岡山市沢田	前期	前方後円墳	165	
56②	別所(円福寺・宝泉)茶臼山古墳	群馬県太田市別所	前期	前方後円墳	165	
56③	白石稲荷山古墳	群馬県藤岡市白石	中期	前方後円墳	165	
59①	古室山古墳	大阪府藤井寺市古室	中期	前方後円墳	160	
59②	椿井大塚山古墳	京都府相楽郡山城町椿井	前期	前方後円墳	160	
61	久津川車塚古墳	京都府城陽市平川	中期	前方後円墳	156	
62	乳の岡古墳	大阪府堺市石津町	前期	前方後円墳	推定155	
63	野中宮山古墳	大阪府藤井寺市野中	中期	前方後円墳	154	
64	櫛山古墳	奈良県天理市柳本町	前期	双方中円墳	152	
65①	断夫山古墳	愛知県名古屋市中区熱田区旗屋町	後期	前方後円墳	151	
65②	梵天山古墳	茨城県常陸太田市島町	前期	前方後円墳	151	
67①	唐仁大塚古墳	鹿児島県肝属郡東串良町新川西	中期	前方後円墳	約150	
67②	神宮寺山古墳	岡山県岡山市中井町	前期	前方後円墳	約150	
67③	湊茶臼山古墳	岡山県岡山市湊	前期	前方後円墳	150	
67④	佐古田堂山古墳	岡山県岡山市平山	中期	前方後円墳	150	
67⑤	松岳山古墳	大阪府相原市国分市場	前期	前方後円墳	約150	
67⑥	玉手山七号墳	大阪府柏原市旭ヶ丘	前期	前方後円墳	約150	
73	掖上罐子塚古墳	奈良県御所市柏原	中期	前方後円墳	149	
74	田出井山古墳	大阪府堺市北三国ヶ丘町	中期	前方後円墳	148	反正天皇陵
75①	イタスケ古墳	大阪府堺市百舌鳥本町	中期	前方後円墳	146	
75②	七興山古墳	群馬県藤岡市上落合	後期	前方後円墳	146	
77①	杉山古墳	奈良県奈良市大安寺町	中期	前方後円墳	約145	
77②	ハタゴ塚古墳	奈良県天理市萱生町	前期	前方後方墳	約145	
77③	蛭子山一号墳	京都府与謝郡加悦町明石	前期	前方後円墳	145	
80①	岩戸山古墳	福岡県八女市吉田	後期	前方後円墳	144	
80②	内裏塚古墳	千葉県富津市二間塚	中期	前方後円墳	144	
82	小造山古墳	岡山県総社市下林・岡山市新庄下	中期	前方後円墳	約142	
83	馬塚古墳	三重県名張市新田	中期	前方後円墳	141	
84①	生目三号墳	宮崎県宮崎市大字跡江	前期	前方後円墳	約140	
84②	東大寺山古墳	奈良県天理市樺本町	前期	前方後円墳	140	
84③	狐井城山古墳	奈良県香芝市狐井・良福寺	後期	前方後円墳	140	
84④	梅山古墳	奈良県高市郡明日香村平田	後期	前方後円墳	140	欽明天皇陵
84⑤	屋敷山古墳	奈良県北葛城郡新庄町新庄	中期	前方後円墳	140	
84⑥	壇場山古墳	兵庫県姫路市御国野町国分寺	中期	前方後円墳	140	
84⑦	雲部車塚古墳	兵庫県多紀郡篠山町東本庄	中期	前方後円墳	140	
84⑧	昼飯大塚古墳	岐阜県大垣市昼飯町	中期	前方後円墳	約140	
84⑨	六呂瀬山一号墳	福井県坂井郡丸岡町上久米田	前期	前方後円墳	140	
84⑩	秋常山一号墳	石川県能美郡寺井町秋常	前期	前方後円墳	140	
84⑪	芦間山古墳	茨城県下館市徳持	前期	前方後円墳	140	
95①	富田茶臼山古墳	香川県大川郡大川町富田	中期	前方後円墳	139	
95②	東殿塚古墳	奈良県天理市中山町	前期	前方後円墳	139	
97①	浦間茶臼山古墳	岡山県岡山市浦間	前期	前方後円墳	138	
97②	鳥屋ミサンザイ古墳	奈良県橿原市鳥屋町	後期	前方後円墳	138	宣化天皇陵
97③	二子山古墳	埼玉県行田市大字埼玉	後期	前方後円墳	138	
100①	新山古墳	奈良県北葛城郡広陵町大塚	前期	前方後方墳	137	
100②	倉塚古墳	奈良県北葛城郡河合町佐味田	中期	前方後円墳	137	
102①	横瀬大塚山古墳	鹿児島県曾於郡大崎町横瀬	中期	前方後円墳	135	
102②	尾上車山古墳	岡山県岡山市尾上花尻	前期	前方後円墳	135	
102③	池田古墳	兵庫県朝来郡和田山町平野	中期	前方後円墳	135	
102④	久米田貝吹山古墳	大阪府岸和田市池尻町	前期	前方後円墳	135	
102⑤	安土瓢箪山古墳	滋賀県蒲生郡安土町桑実寺	前期	前方後円墳	135	
102⑥	吾妻古墳	栃木県下都賀郡壬生町藤井	後期	前方後円墳	135	
102⑦	水戸愛宕山古墳	茨城県水戸市愛宕町	中期	前方後円墳	135	

○内の数字は、同じ大きさのものにつけた番号。

付録2 空洞充填工法の施工実績（第5章の参考文献18）掲載の表を編集）

	工事年度	工事名（略称）	場所	工法	充填量 (m ³)
1	S50 (1975)	春日井市高蔵寺	愛知県春日井市高蔵寺	流動性充填	816
2	S51 (1976)	長久手町長湫東部土地区画整理事業	愛知県愛知郡長久手町	流動性充填	3,493
3	S52 (1977)	長久手町長湫東部土地区画整理事業	愛知県愛知郡長久手町	流動性充填	38,456
4	S53 (1978)	豊田市158号線工業用水閉塞工事		流動性充填	1,213
5	S55 (1980)	東濃高校地盤改良工事	岐阜県可児郡御嵩町	流動性充填	1,100
6	S55 (1980)	春日井市亜炭廃坑充填工事	愛知県春日井市高蔵寺	流動性充填	32,800
7	S56 (1981)	同上継続工事	愛知県春日井市高蔵寺	流動性充填	18,970
8	S57 (1982)	愛知県実験工事（春日井市）		流動性充填	900
9	S57 (1982)	向陽中学校亜炭廃坑充てん工事	岐阜県可児郡御嵩町	流動性充填	5,280
10	S58 (1983)	豊田市貞宝町（工事用造成地）	愛知県豊田市貞宝	流動性充填	20,561
11	S61 (1986)	長久手長中部土地区画整理事業	愛知県愛知郡長久手町	流動性充填	35,300
12	S62 (1987)	東海市荒尾土地区画整理事業	愛知県東海市荒尾	流動性充填	1,764
13	S62 (1987)	長久手長中部土地区画整理事業	愛知県愛知郡長久手町	流動性充填	7,500
14	S62 (1987)	御嵩小学校基礎補強工事	岐阜県可児郡御嵩町	流動性充填	14,011
15	H2 (1990)	日進折戸東部土地区画整理事業古洞注入工事	愛知県日進市折戸	流動性充填	45,000
16	H2 (1990)	東海市荒尾土地区画整理事業	愛知県東海市荒尾	流動性充填	3,300
17	H6 (1994)	吉根特定土地区画整理事業亜炭廃坑充填工事	名古屋守山区吉根	流動性充填	40,105
18	H8 (1996)	犬山市楽田亜炭坑空洞充填工事	愛知県犬山市楽田	流動性充填	4,900
19	H10 (1998)	下志段味土地区画整理事業地下空洞充填工事(その1)	名古屋守山区下志段味	流動性充填	14,837
20	H11 (1999)	東海環状可児地区亜炭坑対策その1調査	岐阜県可児郡御嵩町	限定充填	2,154
21	H11 (1999)	下志段味土地区画整理事業地下空洞充填工事(その2)	名古屋守山区下志段味	流動性充填	10,926
22	H12 (2000)	下志段味土地区画整理事業地下空洞充填工事(その3)	名古屋守山区下志段味	流動性充填	9,345
23	H12 (2000)	下志段味土地区画整理事業地下空洞充填工事(その4)	名古屋守山区下志段味	流動性充填	2,250
24	H12 (2000)	東海環状可児亜炭坑充填工事	岐阜県可児郡御嵩町～可児市	限定充填	81,147
25	H12 (2000)	東海環状御嵩亜炭坑充填工事	岐阜県可児郡御嵩町	限定充填	60,000
26	H13 (2001)	大規模事業関連空隙充填調査業務委託	愛知県愛知郡長久手町	限定充填	1,843
27	H14 (2002)	大規模事業関連東部丘陵線建設工事（その1）	愛知県愛知郡長久手町	限定充填	7,979
28	H14 (2002)	大規模事業関連東部丘陵線建設工事（その2）	愛知県愛知郡長久手町	限定充填	9,318
29	H14 (2002)	大規模事業関連（戸田谷工区地盤改良工）	愛知県愛知郡長久手町	限定充填	169
30	H15 (2003)	長湫南部土地区画整理事業亜炭坑充填工事	愛知県愛知郡長久手町	限定充填	3,488
31	H15 (2003)	大規模事業関連（古戦場工区地盤改良工）	愛知県愛知郡長久手町	限定充填	362
32	H15 (2003)	大規模事業関連（その3・地盤改良工）	愛知県愛知郡長久手町	限定充填	1,517
33	H15 (2003)	柴田汚泥処理場内整備工事	名古屋南区元柴田西町	流動性充填	63
34	H16 (2004)	大規模事業関連（その1の内充填工事）	愛知県愛知郡長久手町	限定充填	540
35	H16 (2004)	長湫南部土地区画整理事業亜炭坑充填工事その2・3	愛知県愛知郡長久手町	限定充填	1,436
36	H17 (2005)	磐越自動車道 安田地区盛土のり面補修工事	新潟県阿賀野市	限定充填	2,774
37	H17 (2005)	道路保全工事（地下空洞充填）	栃木県宇都宮市	限定充填	697
38	H18 (2006)	長湫南部土地区画整理事業亜炭坑充填工事その4	愛知県愛知郡長久手町	流動性充填	644
39	H18 (2006)	桜木町地区特殊地下壕対策工事	青森県むつ市	限定充填	2,708
40	H19 (2007)	土砂運搬施設充填工事	神戸市須磨区	流動性充填	36,190
41	H19 (2007)	市立大学病院旧棟取りこわしその他工事	名古屋瑞穂区	流動性充填	3,338
42	H19 (2007)	長崎497号沖田免地区改良（1工区）工事	長崎県北松浦郡佐々町	限定充填	2,357
43	H19 (2007)	日進町の山南部土地区画整理事業亜炭坑充填工事その1	愛知県日進市	流動性充填	5,809
44	H19 (2007)	日進町の山南部土地区画整理事業亜炭坑充填工事その2	愛知県日進市	流動性充填	1,234
45	H20 (2008)	土砂運搬施設充填工事（その2）	神戸市須磨区	流動性充填	24,200
46	H20 (2008)	長崎497号佐々1号橋下部工（P1）外一連工事	長崎県北松浦郡佐々町	限定充填	432
47	H20 (2008)	御船産業廃棄物処分場地下空洞充填工事	愛知県豊田市御船町	流動性充填	489
48	H20 (2008)	日進町の山南部土地区画整理事業亜炭坑充填工事その3	愛知県日進市	流動性充填 （一部限定）	7,020
49	H21 (2009)	地盤安定化対策工事	愛知県愛知郡長久手町	限定充填	163
50	H23 (2011)	特定鉱害復旧事業西之野・雨田地区充填工事	岐阜県可児郡御嵩町	限定充填	3,170
計					574,068

研究業績

1. 論文	<p>○1) 富松義晴, 三輪滋, 濱田政則: 社会史より見た土木の検証と新たな展開, 土木学会論文集 F5(土木技術者実践), Vol.68, No.2, pp.63-73, 2012.11.</p> <p>○2) 富松義晴, 沼田淳紀, 濱田政則, 三輪滋, 本山寛: 持続可能社会へ向けた土木事業における木材利用の提案, 土木学会論文集 F4(建設マネジメント), Vol.68, No.2, pp.80-91, 2012.7.</p> <p>○3) 富松義晴: 自然環境再生への土木技術者の役割—土木分野における木材利用のすすめ (特別講演論文), 木材利用研究論文報告集 10, 土木学会木材工学特別委員会, pp.1-4, 2011.8.</p> <p>4) 忌部惇, 富松義晴, 井樋宅巳, 渡辺光生: 動翼可変ピッチ型コントラファンを用いた新換気システムの開発と実績, とびしま技報 (土木), No.40, pp.82-90, 1989.3.</p> <p>5) 忌部惇, 渡辺光生, 富松義晴, 井樋宅巳, 有田豊: 動翼可変ピッチ型コントラファンを用いたトンネル工事用新換気システム, 建設の機械化, No.468, pp.42-46, 1989.2.</p> <p>6) 富松義晴, 三枝俊治, 上田武: トンネルコンテナ(TC)工法による急速ずり出し施工, 建設の機械化, No.430, pp.28-31, 1985.12.</p> <p>7) 富松義晴, 上田武, 三枝俊治: トンネルコンテナ(TC)工法による急速施工, とびしま技報 (土木) No.35, pp.52-55, 1985.7.</p> <p>8) 熊谷清一郎, 長谷川昌弘, 境野典夫, 富松義晴, 中野喜明: 著しい崩壊性を呈する破碎岩地山におけるトンネル施工と調査, とびしま技報 (土木) No.28, pp.1-32, 1982.1.</p>
2. 講演	<p>1) 富松晴義, 沼田淳紀, 三輪 滋, 濱田政則: 土木技術者の役割の再考と木材利用の提案, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 共通セッション, pp.31-32, 2011.9.</p> <p>2) 富松義晴, 沼田淳紀, 濱田政則, 三輪滋: 土木事業における木材利用による地球温暖化防止および林業再生への貢献, 土木学会第 19 回地球環境シンポジウム講演集, pp.51-56, 2011.9.</p> <p>3) 板倉忠三, 加来照俊, 塩田衍, 富松義晴: Sideway Force 法による道路の滑り測定, 土木学会北海道支部研究発表会論文集, 24 号, pp.222-225, 1968.</p>