

目次

第1章 序論	1
1 - 1 本研究の背景と目的	2
1 - 1 - 1 コンクリートの物性とセメントの水和反応	2
1 - 1 - 2 セメントの水和反応と組織形成モデルにおける課題	4
1 - 1 - 3 本研究の背景としての構造物のライフサイクルエンジニア リング(LCE)	8
1 - 1 - 4 本研究の目的	11
1 - 2 本研究の方法論と既往の研究の概観	13
1 - 2 - 1 本研究の方法論	13
1 - 2 - 2 セメント水和反応と組織形成の機構に関する研究	15
1 - 2 - 3 セメントの水和反応速度モデル	16
1 - 2 - 4 セメント硬化体の組織形成モデル	18
1 - 3 本論文の構成	21
参考文献	23
第2章 各種クリンカー鉱物の水和反応速度の定式化	25
2 - 1 はじめに	26
2 - 2 ポルトランドセメントの水和反応	27
2 - 2 - 1 概要	27
2 - 2 - 2 各種のクリンカー鉱物の水和反応	27
(1) エーライトおよびビーライトの水和反応	27
(2) アルミネート相およびフェライト相の水和反応	30
2 - 2 - 3 セメントの水和反応	32
2 - 3 各種のクリンカー鉱物の水和反応速度の定式化	35
2 - 3 - 1 基本概念	35
2 - 3 - 2 基礎浸透速度(k_{0i})および遷移浸透速度(w_{tri})	37
(1) 基礎浸透速度(k_{0i})および遷移浸透速度(w_{tri})の値について	39
(2) 移浸透速度の影響($a_{1i}(t)$)	39
2 - 3 - 3 温度の依存性($a_{2i}(t)$)	39
2 - 3 - 4 自由水容積の影響($a_3(t)$)	40
2 - 3 - 5 自由水面積の影響($a_4(t)$)	41
2 - 3 - 6 粒子間の相互作用の影響($a_{5x}(t)$)	45
(1) セメントの粒度分布	45
(2) 粒子間相互の距離	45
(3) セメントペーストの体積あたりのセメント体積比	47

(4) 水和反応速度への粒子間の相互作用の影響	48
2 - 4 まとめ	51
参考文献	52
第3章 ポルトランドセメントの水和反応過程に伴う水和生成物の算定	54
3 - 1 はじめに	55
3 - 2 クリンカー鉱物と水和生成物のキャラクタライゼーション	57
3 - 3 セメントおよびセメント硬化体のキャラクター	60
3 - 3 - 1 概要	60
3 - 3 - 2 セメントのクリンカーのキャラクター	60
3 - 3 - 3 水和生成物のキャラクター	62
(1) CSH	62
(2) CH	64
(3) Al または Fe を多く含む水和物	65
(a) エトリンガイド(AFt)	65
(b) モノサルフェート水和物 (AFm)	65
(c) ハイドロガーネット	66
3 - 3 - 4 硬化体の空隙構造	66
(1) ゲル空隙	67
(2) 毛細管空隙	67
(3) 気泡	67
(4) 遷移帯	67
3 - 4 各種のクリンカー鉱物の化学水和反応の定式化	69
3 - 4 - 1 エーライトおよびビーライトの化学水和反応式	69
3 - 4 - 2 アルミネート相の化学水和反応式	69
3 - 4 - 3 フェライト相の化学水和反応式	70
3 - 4 - 4 各種のクリンカー鉱物および水和生成物の物性値	71
(1) 密度	71
(2) 水和熱	72
3 - 5 セメントの水和反応過程に伴う水和生成物の算定	74
3 - 5 - 1 セメント硬化体中の固相部および空隙部の算定	74
(1) 未水和クリンカー鉱物と水和生成物の算定	74
(2) 全空隙率の算定	76
3 - 5 - 2 測定結果と算定結果の比較	78
(1) 水和率の測定値を用いた場合	79
(a) 実験概要	79
(b) 予測結果と考察	79
(2) 水和率の予測値を用いた場合	79

(a)	水セメント比の影響について	80
(b)	セメントの化学組成の影響について	82
(c)	ブリーディングの影響について	83
3 - 6	まとめ	86
	参考文献	87
第4章	水和反応と組織形成に及ぼすセメント粒子の凝集構造の影響	89
4 - 1	はじめに	90
4 - 2	セメント粒子の凝集構造	91
4 - 2 - 1	粒子の分散・凝集の理論	91
(1)	電気二重層モデル	91
(2)	DLVO の理論	93
(3)	DLVO 理論によるセメント粒子の分散・凝集の機構	94
(4)	DLVO 理論によるセメント粒子の凝集構造	96
4 - 2 - 2	セメントペーストの流動性モデル	97
4 - 3	練混ぜ方法によるセメント粒子の分散・凝集構造の検討	100
4 - 3 - 1	概要	100
4 - 3 - 2	実験の概要	100
(1)	使用材料および配合	100
(2)	練混ぜ方法	100
(3)	フローとブリーディングの試験	101
4 - 3 - 3	結果と考察	101
(1)	フロー値とブリーディング率について	101
(2)	ペースト中の水の存在形態の算出	105
4 - 4	異なる練混ぜ方法で製造したセメントペーストとモルタルの諸性質の検討	108
4 - 4 - 1	概要	108
4 - 4 - 2	実験の概要	108
(1)	使用材料, 配合, 練混ぜ方法	108
(2)	測定用試料の作成	108
(3)	水和反応速度に関する測定方法	109
(a)	結合水量の測定	109
(b)	X 線回折法による C3S および CH の定量	109
(c)	DTA による CH の定量	109
(4)	硬化ペーストの組織に関する測定方法	109
(a)	細孔径分布の測定	109
(b)	走者電子顕微鏡の観察	110
4 - 4 - 3	結果と考察	110
(1)	セメント水和反応速度の変化	110

(2) 硬化ペーストの組織の変化	112
(3) 遷移帯の諸性質	118
4 - 5 まとめ	120
参考文献	122
第5章 ポルトランドセメントの複合水和反応と組織形成のシミュレーション	123
5 - 1 はじめに	124
5 - 2 セルオートマトン法	125
5 - 2 - 1 セルオートマトン法の特徴	125
5 - 2 - 2 セルオートマトン法の基本的な原理	126
5 - 2 - 3 セメントの水和反応と組織形成モデルへの適用性	127
5 - 3 セルオートマトン法用いたセメントの水和反応および組織形成	128
5 - 3 - 1 モデルの基本概念	128
5 - 3 - 2 セメントペーストのモデル	129
(1) セメント粒子のモデル	130
(2) セメント粒度分布のモデル	131
5 - 3 - 3 各セルへの浸透深さの算定	132
5 - 3 - 4 各種のクリンカー鉱物の水和反応過程	133
(1) 各種のクリンカー鉱物の化学反応式	133
(2) ポルトランドセメントの水和物の形成のメカニズム	135
5 - 3 - 5 水和率, 断熱温度上昇の量, 水和生成物の算定	136
5 - 3 - 6 シミュレーションの流れ	138
5 - 4 材料特性値の決定方法	140
5 - 4 - 1 概要	140
5 - 4 - 2 単一体の C_3S および C_2S の場合	140
5 - 4 - 3 普通ポルトランドセメントの場合	140
5 - 4 - 4 相対湿度の依存性	142
5 - 5 計測値と解析値の比較	144
5 - 5 - 1 水セメント比の依存性	144
(1) 既往の研究の実験概要	144
(2) 解析結果と考察	144
5 - 5 - 2 温度の依存性	146
(1) 既往の研究の実験概要	146
(2) 解析結果と考察	146
5 - 5 - 3 断熱温度上昇	147
(1) 既往の研究の実験概要	147
(2) 解析結果と考察	148
5 - 5 - 4 水和生成物と硬化体の組織	149

(1) 既往の研究の実験概要	149
(2) 解析結果と考察	149
5 - 6 まとめ	153
参考文献	154
第6章 結論	155
謝辞	160
論文概要	161
研究業績	166