

外99-9

早稲田大学審査学位論文(博士)の要旨

2887

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

大地震力を考慮した
直接基礎の設計法に関する研究

申請者

羽矢 洋

HIROSHI HAYA

1999年7月

平成7年1月17日に阪神地方を中心とする諸都市に未曾有の大被害を引き起こした兵庫県南部地震(マグニチュード $M=7.2$)の発生により、鉄道も新幹線の高架橋の落橋をはじめとする甚大な被害を被る結果となった。この内陸型の大地震が持つ地震力の大きさは、これまでの鉄道構造物の設計基準で考慮する地震力を大きく上回るものであった。

このような大地震力を考慮した基礎構造物の設計を行う場合、従来のような動的作用力を静的な作用力に置き換える、いわゆる震度法に依ることには限界があり、そのため、上・下部工を適切にモデル化した上で、動的解析を行うことが必要と考える。

本論文は、強地震動を念頭に基礎構造物のうち浅い剛体基礎として分類される直接基礎の耐震設計法の確立のための知見と情報の提供を目的として実施した「直接基礎の挙動解明に関する実験的研究」の成果と、「直接基礎の塑性領域での挙動を含む動的応答値算定法に関する解析的研究」の成果およびこれらの研究成果に基づき実施した「直接基礎の耐震設計を行う上で必要な指標値に関する検討」結果について述べるものである。

本研究では、はじめに直接基礎に対する静的載荷実験および振動台を使用した加振実験を実施し、この実験結果に基づき直接基礎の支持力特性、復元力特性に関する検討を行っている。

次に、実験で得られた知見に基づく静的解析および動的解析による検討を行い、これらの検討結果から、地震時外力によって生じる直接基礎の応答値の算定のための橋脚－直接基礎－地盤連成系の動的解析モデルの提案を行っている。

さらに、上記の解析モデルを既存の鉄道橋脚に適用して、塑性領域における各種応答値を算定し、耐震設計を行う上で必要な指標値を設定するための情報を得ている。

第1章では、研究の背景と目的、耐震設計法の変遷および直接基礎に関する耐震設計法の変遷について道路橋および鉄道橋の両者で対比させるかたちでまとめ、次に、直接基礎の定義、直接基礎に関する研究の現状と問題点についてまとめている。

第2章では、直接基礎の地震時の挙動に関する実験的研究を実施し、その結果と得られた知見についてまとめている。

ここでは、はじめに模型直接基礎を使用した大変位領域に及ぶ静的な水平載荷実験を根入れがない場合と根入れがある場合で実施している。根入れがない場合の模型実験では、フーチング底面の地盤反力が実測可能な模型を作成し、これにより大変位領域におけるフーチング底面地盤の反力分布の特性を明らかにするとともに、載荷モーメントに

対するフーチング底面地盤の抵抗モーメントには限界があることと、この最大の抵抗モーメントは低下することなく基礎の変位を進行させ得る領域が広く確保できることがわかった。また、荷重と変位に着目したときの除荷時の経路は、著しい原点指向性を示すことがわかった。一方、根入れに伴う側方地盤（地表面からフーチング底面位置までの軸体およびフーチングの側方にある地盤）が及ぼす直接基礎の支持力特性への影響の把握を目的に実施した根入れがある場合の載荷実験では、荷重と変位の関係における除荷時の経路が原点指向とはならず、荷重ゼロの状態で残留変位が大きく、そのため履歴はループ状となることがわかった。また、根入れが大きいほどこの履歴ループの膨らみは大きくなることがわかった。

次に、振動台を使用した大加速度加振実験を根入れがない場合とある場合で実施し、これにより入力加速度の増加に伴い、模型の応答加速度が一定値に漸近することを把握した。また、このような性状を示す理由として、模型振動の回転中心（ノード）が入力加速度の増加に伴い模型内に現れ、入力加速度の上昇に伴ってノードの位置が模型重心に向かって上昇していくことによるものであることがわかった。

さらに、線路の付け替えにより不要となった実物の直接基礎橋脚に対し、大変位領域に及ぶ静的水平載荷実験を実施し、これにより得られた知見が、模型の載荷実験で得られた知見と一致することを確認した。

第3章では、大変位領域に及ぶ静的載荷実験により得られた多くの知見に基づいて行った解析的研究の成果についてまとめている。

はじめに、根入れのない状態で実施した実験結果に基づき、フーチング底面に発生する地盤反力のモデル化を行い、作用力と基礎の変位の関係（フーチング底面位置における抵抗モーメントとフーチング回転角の関係）を定式化するとともに、地盤の極限支持力から定まる直接基礎の限界状態（最大抵抗モーメントに達する状態）を定義した。

次に、根入れがある場合の実験結果から、側方地盤が及ぼす直接基礎の支持力特性への影響について考察するとともに、側方地盤を受働土圧で降伏する非線形水平ばねに、またフーチング底面地盤を最大抵抗モーメントで降伏する非線形回転ばねとして設定することで、直接基礎に作用する静的外力とフーチング回転角の関係を精度よく表現可能な静的解析モデルの設定を行っている。

第4章では、振動台を使用した大加速度加振実験結果に基づき行った解析的研究の成

果についてまとめている。

この中では、根入れがない場合と根入れがある場合の実験結果に基づき、基礎・地盤ばねの復元力モデルの設定を行っている。この復元力モデルの骨格曲線（抵抗モーメントM～フーチング回転角θ関係）については、第3章で提案した解析手法に基づく骨格曲線で表し、除荷時の経路設定に関しては、その除荷勾配を根入れの大きさに応じて変化させる手法を設定している。また、上部工（桁）・橋脚・フーチングのモデル化については、一般的な直接基礎橋脚を解析対象とした上で、上部質点に水平1自由度を、下部質点に水平ばねおよび回転ばねによる2自由度を考慮した2質点3自由度の橋脚－直接基礎－地盤連成系の動的解析モデルを設定している。

なお、根入れがある場合の振動実験結果に対し、ここで提案した動的解析モデルによるシミュレーション解析を行ったところ、実験結果を良好にシミュレート可能であることが確認できた。これにより本章で提案する橋脚-直接基礎-地盤連成系モデルにより、強地震動に対する塑性領域での応答値が求められることとなった。

第5章では、これまでの研究成果に基づき、大地震に対し安全な直接基礎を構築するための耐震設計法に関する検討を行っている。

ここでは、はじめに直接基礎の耐震設計法の基本思想を述べ、次に、第4章で提案した橋脚-直接基礎-地盤連成系モデルによる動的解析法を既往の耐震基準により設計・建設された鉄道橋脚の直接基礎（8橋脚）に適用し、5種類の観測地震波に対する塑性領域における直接基礎の各種応答値の算定を行うとともに、この結果から、直接基礎の耐震設計のための指標値（応答値の制限値）について考察している。

指標値に関する検討では、鉄道橋梁直接基礎の安全性を検討する上で重要と考えられる指標として「基礎の回転に関する応答塑性率」と「橋脚天端位置における最大応答水平変位量」および「基礎の最大応答速度」の3種類の応答値を定め、検討橋脚の各々の応答値についてまとめた。解析の結果、応答塑性率はばらつきを示すが、その値は3から7程度の範囲であることがわかった。また、橋脚天端位置における最大水平変位量は最も大きい橋脚で250mm、応答速度はばらつきが小さく100kine前後の応答値となった。

こうして得られた解析結果を基に、直接基礎の耐震設計のための指標値（応答値の制限値）に関する考察を行っている。

第6章では、本研究で得られた成果をまとめ総括している。