

氏名（本籍）	余川 弘 至（愛知県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第 382 号
学位授与日付	平成 22 年 3 月 25 日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	地盤と構造物の動的相互作用に着目した液状化対策工法に関する研究 (Liquefaction countermeasure based on dynamic interaction between ground and structure)
学位論文審査委員	(主査) 杉 戸 真 太 (副査) 八 嶋 厚 沢 田 和 秀

論文内容の要旨

地盤の液状化による被害の例として、構造物の不等沈下や傾斜、埋め立て地盤などの軟弱地盤での地盤沈下、盛土の崩壊、マンホールの浮上がり、斜面崩壊などが上げられる。一度、地盤が液状化に至ると、地盤には大きな変形が生じ、その周辺の構造物に甚大な被害をもたらすことになる。

1995 年の兵庫県南部地震のような内陸直下型の大きな地震では、これまで液状化しないとされてきた礫層まで、液状化が発生し、様々な土木構造物被害を受けた。このような背景を受け、耐震基準等に関する「第一次・第二次提言」が行われ、その中で、土木構造物の耐震性能の照査では、レベル 1 および 2 の「二段階の設計」を行うことが提案された。これまで行われてきた、一段階設計と大きく違うのは、レベル 1 地震動とレベル 2 地震動の二つのレベル地震動に対して、構造物の重要度に応じた耐震性能を満足することを、目標としているという点である。その中で特にレベル 2 設計法が整備されてきている。現在、「二段階設計法」は新設構造物の設計では広く使われているが、液状化対策の設計においては、検討され始めている段階である。レベル 2 地震動では、構造物が損傷しても機能に重大な支障が発生しないこと、短期間での復旧が可能な範囲内での損傷に留めることが、目標とされている。一方、「第一次・第二次提言」の中で、「性能規定型設計法」についても提唱されている。ここでは、震動のレベルに対して、構造物の重要度に応じて耐震性能を定め、これに基づいて耐震設計を行うこととしている。

これらの設計法を用いて設計を行うためには、地震動が作用した場合の、構造物の変形量や地盤の変形量を出来るだけ定量的に予測することが求められる。特に、地盤が液状化した場合などは、地盤や構造物の変形が大きくなることが考えられるが、その地盤や構造物の動的変形挙動を定量的に算定する手法が必要となる。また、液状化対策の設計においては、対策費用と対策効果のバランスを考慮し、構造物が保有すべき耐震性能を満足した対策が必要となる。構造物の耐震性能として周辺地盤や構造物の変形を許容することもあるため、液状化対策が施された構造物がどのように変形し、どの程度の対策効果が望めるのかを把握することが重要となる。

本研究では、杭基礎構造物、河川堤防という 2 つの構造物を対象とした。

杭基礎構造物を取り扱った研究では、構造物と地盤との動的相互挙動を把握するために、重力場振動台実験を実施した。構造物のモデルには、単杭・4 本杭・9 本の群杭を有する構造物を準備し、飽和した地盤中における震動時の構造物と地盤との動的相互作用について検討を行った。さらに、有限要素法コード (LIQCA) を用いてモデル実験を再現し、モデル振動台実験で得られた結果と数値解析で得られた結果とを比較検討した。その結果、杭周辺の地盤は、杭と地盤の相対変位に伴うせん断応力の発生により、地盤の剛性が現象と回復を繰り返すことを確認した。また、基礎構造物の形態によりその効果が異なることも確認した。

次に、杭基礎構造物に対する液状化対策工法の効果を明らかにするために、遠心場でのモデル振動実験を行った。液状化対策工法には、排水機能付きの矢板工法を用いた。地震時の杭の応力状態に着目し、その効果について検証した。さらに、LIQCA を使用し再現解析を行うことで、実験で把握することができない地盤内の詳細な挙動について検討した。その結果、排水機能付き矢板によって、杭周辺の地盤の変位を抑制することができ、杭頭に作用する曲げモーメントを抑制する効果が見られた。

河川堤防を取り扱った研究では、2004 年新潟県中越地震で、実際に被災した信濃川堤防右岸 2.0km (中条地区) の河川堤防を解析の対象とした。数値解析には、LIQCA を使い、河川堤防の水平変位量や沈下量を含めた耐震性能の評価や、時々刻々と変化する地盤内の応力状態や過剰間隙水圧から、被災メカニズムの推定も行った。また、3 つの異なる地震動による河川堤防の動的変形挙動を把握した。その結果、再現解析では、河川堤防の被害状況を概ね再現することができ、破壊メカニズムを明らかにすることができた。3 つの異なる地震動を用いた予測解析では、堤体の被害は、地震動の加速度振幅と地震動継続時間に大きく依存することを確認した。

さらに、木曾川下流域の河川堤防に対して、地震時の地震応答解析を行った。ここでは、さまざまな液状化対策工法を想定した予測解析を行い、液状化対策工法の効果について検討を行った。堤防天端の沈下

量と堤体法尻の水平変位量を耐震性能の評価指標の1つとし、さまざまな液状化対策工の効果を検証した。その結果、対策工法の違いだけでなく、対策工法の設置位置や液状化層厚、変形モードの違いにより、対策の効果が異なることを確認した。

論文審査結果の要旨

地盤の液状化による被害の例として、構造物の不等沈下や傾斜、埋め立て地盤などの軟弱地盤での地盤沈下、盛土の崩壊、マンホールの浮上がり、斜面崩壊などが上げられる。一度、地盤が液状化に至ると、地盤には大きな変形が生じ、その周辺の構造物に甚大な被害をもたらすことになる。

1995年の兵庫県南部地震のような内陸直下型の大きな地震では、これまで液状化しないとされてきた礫層まで、液状化が発生し、様々な土木構造物被害を受けた。このような背景を受け、耐震基準等に関する「第一次・第二次提言」が行われ、その中で、土木構造物の耐震性能の照査では、レベル1および2の「二段階の設計」を行うことが提案された。これまで行われてきた、一段階設計と大きく違うのは、レベル1地震動とレベル2地震動の二つのレベル地震動に対して、構造物の重要度に応じた耐震性能を満足することを、目標としているという点である。その中で特にレベル2設計法が整備されてきている。現在、「二段階設計法」は新設構造物の設計では広く使われているが、液状化対策の設計においては、検討され始めている段階である。レベル2地震動では、構造物が損傷しても機能に重大な支障が発生しないこと、短期間での復旧が可能な範囲内での損傷に留めることが、目標とされている。一方、「第一次・第二次提言」の中で、「性能規定型設計法」についても提唱されている。ここでは、震動のレベルに対して、構造物の重要度に応じて耐震性能を定め、これに基づいて耐震設計を行うこととしている。

これらの設計法を用いて設計を行うためには、地震動が作用した場合の、構造物の変形量や地盤の変形量を出来るだけ定量的に予測することが求められる。特に、地盤が液状化した場合などは、地盤や構造物の変形が大きくなることが考えられるが、その地盤や構造物の動的変形挙動を定量的に算定する手法が必要となる。また、液状化対策の設計においては、対策費用と対策効果のバランスを考慮し、構造物が保有すべき耐震性能を満足した対策が必要となる。構造物の耐震性能として周辺地盤や構造物の変形を許容することもあるため、液状化対策が施された構造物がどのように変形し、どの程度の対策効果が望めるのかを把握することが重要となる。

本研究では、杭基礎構造物、河川堤防という2つの構造物を対象とした。

杭基礎構造物を取り扱った研究では、構造物と地盤との動的相互挙動を把握するために、重力場振動台実験を実施した。構造物の模型には、単杭・4本杭・9本の群杭を有する構造物を準備し、飽和した地盤中における震動時の構造物と地盤との動的相互作用について検討を行った。さらに、有限要素法コード(LIQCA)を用いて模型実験を再現し、模型振動台実験で得られた結果と数値解析で得られた結果とを比較検討した。その結果、杭周辺の地盤は、杭と地盤の相対変位に伴うせん断応力の発生により、地盤の剛性が現象と回復を繰り返すことを確認した。また、基礎構造物の形態によりその効果が異なることも確認した。

次に、杭基礎構造物に対する液状化対策工法の効果を明らかにするために、遠心場での模型振動実験を行った。液状化対策工法には、排水機能付きの矢板工法を用いた。地震時の杭の応力状態に着目し、その効果について検証した。さらに、LIQCAを使用し再現解析を行うことで、実験で把握することができない地盤内の詳細な挙動について検討した。その結果、排水機能付き矢板によって、杭周辺の地盤の変位を抑制することができ、杭頭に作用する曲げモーメントを抑制する効果が見られた。

河川堤防を取り扱った研究では、2004年新潟県中越地震で、実際に被災した信濃川堤防右岸2.0km(中条地区)の河川堤防を解析の対象とした。数値解析には、LIQCAを用い、河川堤防の水平変位量や沈下量を含めた耐震性能の評価や、時々刻々と変化する地盤内の応力状態や過剰間隙水圧から、被災メカニズムの推定も行った。また、3つの異なる地震動による河川堤防の動的変形挙動を把握した。その結果、再現解析では、河川堤防の被害状況を概ね再現することができ、破壊メカニズムを明らかにすることができた。3つの異なる地震動を用いた予測解析では、堤体の被害は、地震動の加速度振幅と地震動継続時間に大きく依存することを確認した。

さらに、木曾川下流域の河川堤防に対して、地震時の地震応答解析を行った。ここでは、さまざまな液状化対策工法を想定した予測解析を行い、液状化対策工法の効果について検討を行った。堤防天端の沈下量と堤体法尻の水平変位量を耐震性能の評価指標の1つとし、さまざまな液状化対策工の効果を検証した。その結果、対策工法の違いだけでなく、対策工法の設置位置や液状化層厚、変形モードの違いにより、対策の効果が異なることを確認した。

最終試験結果の要旨

杉戸真太、八嶋 厚、および沢田和秀で構成する審査委員会は、本論文および別刷りなどを慎重に検討した。本論文は学位論文として十分完成された内容を有していること、提出された学位論文および発表論文は、申請者により書かれていることを確認した。また最終試験(公聴会)を平成22年2月12日に開催し、審査委員会での審査の結果、合格と判定した。