

京都大学	博士（工学）	氏名	八ツ元 仁
論文題目	道路ボックスカルバートの耐震設計手法の確立に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本研究は、近年の構造の多様化に伴い耐震設計手法の必要性が高まっている道路ボックスカルバートの耐震設計手法を確立することを目的に実施した研究である。研究の中では室内実験と数値解析による実験結果の再現解析を行うことで、道路ボックスカルバートに適用できる地震時挙動評価手法を確立し、その手法を用いて実際に設計・施工される道路ボックスカルバートの耐震性能を評価した結果についてとりまとめた。また、検討の過程で開発した簡易な耐震設計手法についても併せて記述を行った。本論文は、6章から構成されている。</p> <p>第1章では、道路ボックスカルバートの耐震設計に関する動向を述べるとともに、道路ボックスカルバートの構造諸元を決定するための設計法や特有の構造特性について述べている。道路ボックスカルバートは橋梁に比べて経済面で有利であることから、近年において断面を大型化、複雑化したものが現れ始めている。これらの構造については耐震設計が必要とされているものの、耐震設計手法はもとより、耐震設計に関する知見についてもほとんど蓄積されていない現状について記した。また、道路ボックスカルバート特有の構造特性を明確化し、類似の地中構造物の耐震設計手法をそのまま用いることの問題点などについて述べた。これら道路ボックスカルバートの耐震設計に関する背景を述べるとともに、本研究の目的となる耐震設計手法の確立することの必要性について記述を行った。</p> <p>第2章では、過去の大地震における道路ボックスカルバートの被災状況の分析と、構造的に類似と言える地中構造物の研究成果について調査した結果について述べている。過去の大地震における道路ボックスカルバートの被災状況としては、躯体部については大きなひび割れ、被りコンクリート剥離・剥落といった大きな損傷状態は確認されておらず、また、せん断破壊といった阪神大震災において鉄道の地下構造物で確認された大きな被害は確認されていない。一方で、道路ボックスカルバートを取り囲む盛土直上部に設けられる盛土道路部では大きな沈下が発生すること、道路ボックスカルバートの縦断方向の目地が開き周辺盛土がボックスカルバートの内部空間に流入し、内部空間に設けられた道路が使用不可能になること、などの被害が生じていることを記した。また、道路ボックスカルバートや類似の地中構造物を対象とした耐震設計に関する既往研究の成果や、新たな耐震設計手法の確立に際して参考となる既往の簡易設計手法についても整理を行い、その成果についても記述を行った。</p> <p>地震外力を受けた際に道路ボックスカルバートを構成する部材で損傷がどのように発生し進展するのか、さらにはどのような破壊状態に至るのかなど現時点では明らかになっていない。第3章では、数多くの道路ボックスカルバートの地震時挙動を明らかにするべく、縮尺模型を用いた室内実験及び数値解析によるその実験の再現解析のを行い、その結果について考察した。縮尺模型実験では3体の異なる構造条件の供試体を用いることにより、被りコンクリートの剥落は最大水平荷重に達した後に生じる、頂版の沈下量は最大水平荷重に達した後、急激に増加するなどの構造条件が異なっても共通して生じる損傷現象や、最大荷重に達してから最大水平荷重が低下し始めるまでの水平変位は構造条件により異なって現れるなどの損傷現象を明らかにした。また、せん断土槽等の地中実験では検証することができない内面側と外面側の損傷の相関関係や損傷の進展過程を把握するなど、気中実験でしか得ることのできない損傷データの分析結果を整理した。数値解析では、実務で一般的に用いられる非線形骨組み解析を用いて実</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	八ツ元 仁
------	--------	----	-------

験結果の再現解析を実施した。解析の結果、全てのケースで高い精度で水平荷重－水平変位の関係や主鉄筋の降伏位置などについて実験結果を再現できることを明らかにするとともに、幅広の断面形状のケース、土被りが大きいケースでは水平荷重で10%程度、水平変位で20%程度の再現精度の低下が生じることを明らかにし、それら結果について考察を行った。

第4章では、道路ボックスカルバートが地震時に周辺地盤からどのような地震時外力を受け、どのような挙動を起こすのかを明らかにするべく実施した、遠心載荷装置による遠心模型実験及び数値解析によるその実験の再現解析の結果について述べた。遠心模型実験についても3体の異なる構造条件の供試体を用いており、比較的小さい地盤のせん断ひずみの段階から剛体回転挙動が生じること、剛体回転の中心となる側壁基部周辺部や地震時土圧が作用する側壁上端部周辺部で土圧が増加すること、などの構造条件が異なっても共通して生じる現象を明らかにした。数値解析では、アーチカルバートなどの地中構造物の耐震解析で実績のある2次元弾塑性FEM解析を用いることで、ボックスカルバート躯体部のみならずボックスカルバートを取り囲む周辺地盤の地震時挙動について検証を行った。解析では部材厚が厚い幅広の断面ケースにおける曲げモーメントが側壁下端で局所的に大きくなること、圧縮力の軸力評価が全てのケースにおいて過小評価することを確認したが、ボックスカルバートに生じるせん断変形量の評価精度にそれ程大きな影響を与えないことを感度解析で検証することで、本解析手法がある一定の計算精度を有していることを明らかにした。第3章に示す気中実験と本章に示す地中実験による検討成果をとりまとめることで、道路ボックスカルバートに適用できる地震時挙動の評価手法を確立することができた。

第5章では、第3章及び第4章の検討を経て確立した地震時挙動の評価手法を用いて、実在する道路ボックスカルバートの耐震性能の検証を行うとともに、耐震設計を省略できる構造条件の明示や、検討の過程で開発した簡易な耐震設計手法について記述を行った。地震時評価手法による解析検討では、10ケースの異なる構造条件のボックスカルバートを対象に、レベル2地震に対する耐震性能検証を実施した。検証の結果、躯体部のせん断耐力さえ十分に保有していれば、今回検討した構造条件下では躯体部はレベル2地震で安全性を損なうような大きな損傷状態に至らないことを明らかにした。また、盛土道路部についても躯体部と同様に耐震性能を検証した結果、通行止めを要するような大きな損傷状態には至らないことを明らかにした。第2章で示した既往の道路ボックスカルバートの損傷状態との比較を行うことで、本解析による結果との間に乖離があることを確認したが、この乖離状況を考慮しても躯体部についてはレベル2地震に対しては耐震設計を省略できることを明らかにし、その結果について記述を行った。また、検討を進める中で、既往の研究で提案されている簡易設計手法の計算精度を向上させることのできる改良手法を新たに開発することで、道路ボックスカルバートに適用できる簡易な耐震設計手法を確立し、その成果について記述した。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

氏名	八ツ元 仁
----	-------

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、近年の構造の多様化に伴い耐震設計手法の必要性が高まっている道路ボックスカルバートの耐震設計手法を確立することを目的とした研究である。室内実験と数値解析による実験結果の再現解析を行うことで、道路ボックスカルバートに適用できる地震時挙動評価手法を確立し、その手法を用いて実際に設計・施工される道路ボックスカルバートの耐震性能を評価した。また、検討の過程で開発した簡易な耐震設計手法をも提示した。本研究において得られた主な結論を以下に示す。

- 1) 模型供試体による気中実験により、数値解析では評価することが難しい水平荷重と損傷現象の相関関係を得た。道路ボックスカルバートの安全性の確保できる限界状態と水平荷重の関係などを明確にすることで、数値解析から得られる地震時応答変位や水平荷重などから、損傷状態を正確に推定することが可能となった。
- 2) 気中及び地中での模型実験とその再現解析を行うことで、道路ボックスカルバートの地震時挙動を評価する手法を確立した。この地震時挙動の評価手法については、軸力を過小に評価するという実験結果との乖離点も存在するが、ボックスカルバートに生じるせん断変形量の評価精度にそれ程大きな影響を与えないことを確認するなどして、本解析手法は高い計算精度を有していることを明らかにした。
- 3) 実物大道路ボックスカルバートのレベル2地震の耐震性能評価を行った結果、躯体部については、せん断耐力を確保することさえできれば、常時設計で決定される構造諸元でL2地震に対する安全性を確保できることを明らかにした。ボックスカルバート直上の盛土道路部についても本解析による耐震性能評価の結果、簡易な復旧さえすれば通行できる程度の損傷程度であり、安全性を失うような大きな損傷状態に至らないことを明らかにした。ボックスカルバート目地部の目開きの挙動を再現しきれていないという課題点を考慮しても、ボックスカルバート躯体部のレベル2地震に対する耐震設計は省略できることを本研究で導き出した。
- 4) 本研究による動的解析の結果から、既往の研究で提案されている簡易設計手法の精度向上を図ることができる新たな手法を開発した。当該手法は道路ボックスカルバートへの適用性を検証した手法であり、道路ボックスカルバートの耐震設計手法として実務面で活用できる耐震設計手法となり得る。

以上、本論文は、道路ボックスカルバートの地震時の力学挙動を明らかにするとともに耐震設計法を提案し、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年7月30日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。