

数値解析による道路ボックスカルバートの耐震性能評価に関する検討

阪神高速道路(株) 正会員 ○八ツ元 仁 京都大学 学生会員 光吉 泰生

京都大学 正会員 澤村 康生 京都大学 正会員 木村 亮

1. はじめに

高架構造に比べて経済性に優れる土工構造の採用が近年増加してきている。土工構造の一種であるボックスカルバートは盛土内に設置しその内空空間を道路として活用される事例が数多く見られる。本検討では、これら道路として使用されるボックスカルバートを道路ボックスカルバート（以降、道路ボックス）と呼ぶこととする。この道路ボックスにおいては、近年、多車線道路として使用するために内空断面が大きくなる傾向にある。道路ボックスは過去の大地震で大きな被災を受けていないことから耐震面でも優れていると考えられているが、道路土工カルバート工指針¹⁾の中でも示すように、断面形状が大きくなるなどある一定の条件を超えた場合については、適切な手法による耐震性能の検証が必要と考えられている。一方で、体系的にまとめられた道路ボックスの耐震設計法が確立されていないということもあることから、著者らは、道路ボックスの耐震性能を適切に評価する手法の確立を目指した検討を行ってきている。この検討の一環として、数値解析により様々な構造条件下にある道路ボックスの耐震性能を評価した結果について本稿で報告する。

2. 解析条件について

本研究グループでは、過去より地中構造物の地震時挙動の評価に関する検討を実施してきており、その成果を残してきている。道路ボックスとは形状が異なるが、同じ盛土内に設置される構造物となるアーチカルバートの地震時挙動について実験および数値解析による再現を行っており、その再現性が非常に高いことを確認している^{例えは 2)}。本検討では、文献 2)の数値解析において使用した解析コード DBLEAVES を用いて、地盤内に設置された道路ボックスの地震時挙動を求めた。検討対象となる道路ボックスは、常時設計で決まった構造諸元のもの^{がどの程度耐震性能を有しているかを評価するため、常時設計により構造諸元を決定した。}。検討ケースは、図-1 に示す全 4 ケースとした。道路ボックスの耐震性能は土被りと断面形状（縦横比）が大きく影響すると考えられることから、今回は縦横比を変えた検討を行うものとし、土被りについてはすべてのケースにおいて 1.0m とした。モデル化では、道路ボックスの断面中央に Beam 要素を配し、覆工部材強度の軸力依存性を考慮した AFD model³⁾を用いてモデル化を行った。AFD モデルの中では鉄筋をトリリニアでモデル化していることから、鉄筋の塑性化について判定が可能である。地盤の力学特性は、subloading t_{ij} model⁴⁾を用いてモデル化し、地盤-カルバート間と地盤-土槽間には Joint 要素を配置し、両者の剥離および滑りを表現した。地盤物性は、カルバート工指針に準拠し、道路ボックスの底版面から底面境界までの地盤（基礎地盤）を N 値 20 相当、それより上側の地盤を N 値 10 相当となるように物性値を設定した。入力地震動は、道路橋示方書耐震設計編⁵⁾に示すレベ

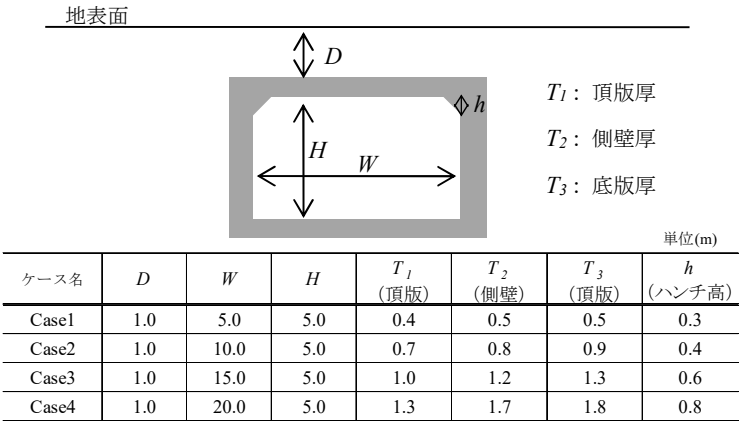


図-1 解析検討ケースの概要

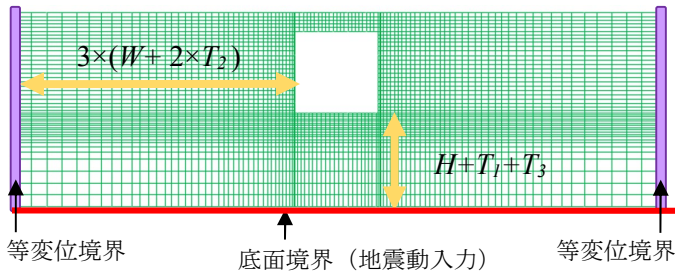


図-2 Case1 解析モデル図

キーワード 道路ボックスカルバート, 耐震性能, 動的解析

連絡先 〒552-0006 大阪市港区石田 3-1-25 阪神高速道路(株) 大阪管理局 TEL: 06-6576-3881

ル2タイプIIにおけるI種地盤の波の3波を底面境界に入力した。次に、基礎地盤の厚さはいずれのケースも道路ボックスの高さと同じ厚さに統一した。また、本検討では、道路ボックスが成層地盤内に設置された状態であることを想定するため、側方境界からの影響を受けないように側方境界からの距離を道路ボックスの幅の3倍の距離とするとともに、両側方境界が同じ動きをするように等変位境界設定を行った。図-2にCase1のモデル化状況を示す。

3. 解析結果

Case1 から Case4 の各ケースに対して3波の入力地震動を与え、その応答について分析を行った。表-1に各ケースで最も鉄筋ひずみが生じた箇所での降伏比（発生ひずみを降伏ひずみで除したもの）を示す。なお、ここに示す降伏比は、3波を入力した結果の平均値としている。いずれのケースも側壁基部での発生ひずみが最も大きくなった。降伏比はCase1が最も大きく、塑性化（主鉄筋の降伏）に対する余裕度が小さい結果となったが、塑性化は生じていない。この結果より、いずれのケースもレベル2地震に対して耐震性能を有していることが確認された。道路ボックスの地震時応答についてより詳細に分析するために、層間変形角と剛体回転角を求めるとともに、図-3に示すように相関関係について整理を行った。ここに示す層間変形角とは、道路ボックスのせん断変形の度合いを示す指標であり、この角度が大きい程、道路ボックスはせん断変形を起こし損傷が生じやすい状態になることを示す。図に示すように、入力地震波毎に整理を行うと道路ボックスの縦横比が大きくなる程、層間変形角と剛体回転角が小さくなっている。縦横比が4.0のCase4を除けばいずれの入力地震波においてもほぼ線形関係と言える強い相関を示すことがわかる。縦横比が大きくなり断面形状が横長になると、常時設計により定まる構造として壁厚が厚くなり水平剛性が大きくなるため道路ボックスはせん断変形が生じにくくなること、断面形状が横長になることで頂版直上の地盤による回転挙動に対する抵抗が増えることで剛体回転が生じにくくなること、からこのような相関関係が現れたものと考えられる。

4. おわりに

道路ボックスが有している耐震性能を評価するため、弾塑性有限要素法による地盤・道路ボックスの一体解析を実施した。地中構造物が地震時に生じる挙動を層間変形角と剛体回転角に切り分けて分析することで、各ケースにおける道路ボックスの地震時挙動を評価した。検討の結果、今回実施した土被り1.0mの道路ボックスについては、常時設計で決定された構造で耐震性能を有していることがわかった。また、地震時挙動については、入力地震動毎に整理を行うことで道路ボックスの縦横比と層間変形角・剛体回転角の間に強い相関関係があることを明らかにした。道路ボックスは様々な構造条件のものが存在することから、土被りを変えた条件下での検討といった更なる検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工カルバート工指針（平成21年度版）、丸善出版、2010.、
- 2) 澤村ほか：強震応答実験と数値解析に基づく3ヒンジアーチカルバートの耐震設計法に関する考察、土木学会論文集C（地圏工学）、Vol.73, No.1, pp.1-10, 2017.、
- 3) Zhang, F. and Kimura, M. : Numerical prediction of the dynamic behaviors of an RC group-pile foundation, *Soils and Foundations*, Vol. 42, No. 3, pp. 77-92, 2002.、
- 4) Nakai, T. and Hinokio, M. : A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, *Soils and Foundations*, Vol. 44, No.2, pp.53-70, 2004.、
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Vコンクリート橋編、2012.

表-1 各ケースの降伏比

	Case1	Case2	Case3	Case4
降伏比	0.93	0.61	0.57	0.32

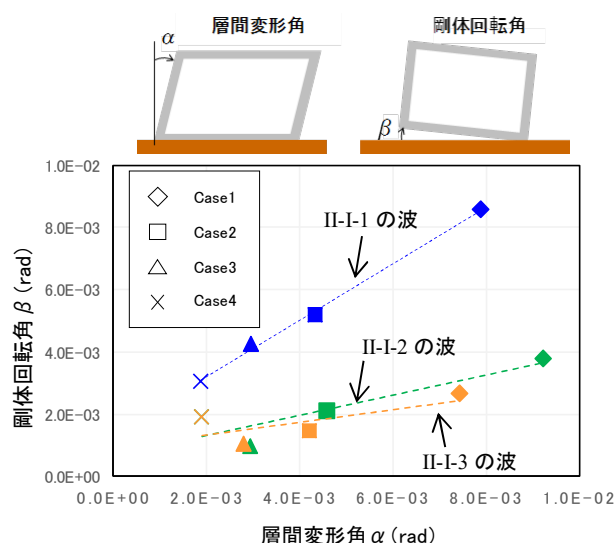


図-3 層間変形角と剛体回転角の相関