

斜材付き π 型ラーメン橋の地震時土圧の評価手法に関する検討

NEXCO 西日本コンサルタンツ(株) 正会員○李 首一 中谷 隆生
(株)高速道路総合技術研究所 正会員 高原 良太
西日本高速道路(株) 正会員 西谷 朋晃

1. はじめに

高速道路などで跨道橋として多く用いられている斜材付き π 型ラーメン橋（以下、斜 π 橋とする）は、垂直材と斜材で主桁を支持する構造となっている¹⁾。跨道橋の場合、大規模地震時の損傷・倒壊により高速道路本線の緊急輸送道路としての機能を妨げる可能性があるため、耐震性能³⁾の確保が重要である。そこで、本稿では既往の斜材背面地盤の影響に関する遠心模型実験²⁾に対し再現解析を実施し、背面地盤の非線形性が斜 π 橋の耐震性能に及ぼす影響について、定量的に評価するためのモデル化方法を検討したため、その内容について報告する。

2. 遠心模型実験²⁾の概要

既往研究²⁾では図-1に示す橋梁-斜材背面地盤全体模型による遠心模型振動実験が実施され、主に地震時の地盤と斜材の相互作用に着目して、斜 π 橋の地震時応答の特徴が把握された²⁾。また、実験結果の分析により(1)斜 π 橋の地震時挙動は地山の影響を受け、背面地盤の有無によって斜 π 橋の挙動が大きく異なること、(2)斜材背面地盤ばねの剛性や降伏耐力の適切な評価が重要であることが確認された²⁾。

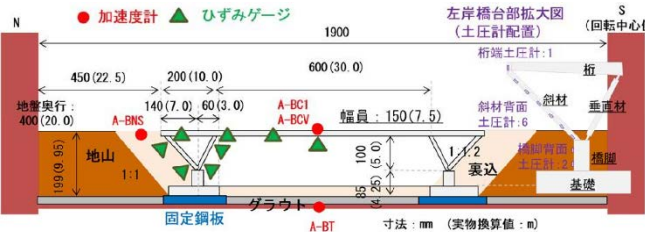


図-1 実験模型概要(裏込・埋戻しの場合)²⁾

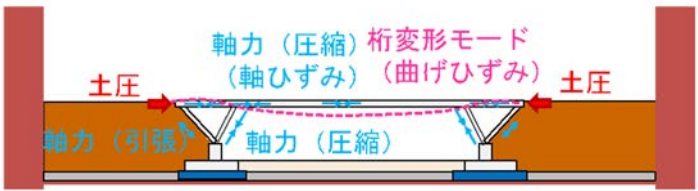


図-2 遠心載荷による斜 π 橋の変形モード²⁾

3. 遠心模型実験に対する再現解析

3.1 再現解析方法

2に示す遠心模型実験²⁾では供試体に50g相当の遠心力が加わっていたため、再現解析では図-1に示す模型の寸法を50倍拡大したものを対象に、実験の実施状況に合わせ、最大加速度300gal~600galの波形を入力し、動的解析を実施した。再現解析に用いたモデルの概要及び解析条件は図-1、表-1に示す通りである。モデル化に必要な材料(アルミニウム)の特性値及び背面土(砂質土)の地盤定数($c=1\text{kN/m}^2, \varphi=30^\circ$)は既往研究²⁾の材料試験の結果に準拠している。

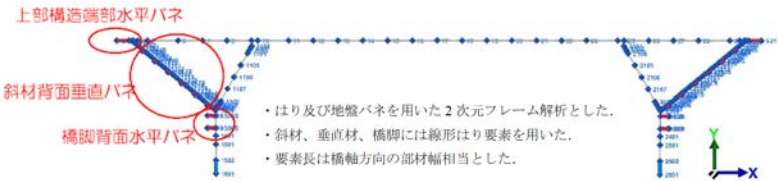


図-3 解析モデル図

表-1 モデル化方法

部位	材質	要素	説明	部位	材質	要素	説明
上部構造	アルミニウム	線形はり要素	全断面有効	フーチング底面バネ	砂質土	固定	実験の実施状況に合わせている。
斜材	アルミニウム	線形はり要素	全断面有効	橋脚背面バネ	砂質土	非線形バネ要素	(引張)ノータンション、(圧縮)地盤反力度上限値考慮
垂直材	アルミニウム	線形はり要素	全断面有効	斜材背面バネ	砂質土	非線形バネ要素	(引張)ノータンション、(圧縮)地盤反力度上限値考慮
橋脚	アルミニウム	線形はり要素	全断面有効	上部構造両端背面バネ	砂質土	非線形バネ要素	(引張)ノータンション、(圧縮)地盤反力度上限値考慮
フーチング	アルミニウム	線形はり要素	全断面有効	橋脚背面バネ	砂質土	非線形バネ要素	(引張)ノータンション、(圧縮)地盤反力度上限値考慮

3.2 背面地盤のモデル化方法

斜 π 橋の背面に接する地盤の地震時影響については受働土圧として考慮し、図-4に示すような非線形ばねとして取扱う。図-4は米国カリフォルニア州交通局で実施された橋台の載荷実験の結果に基づき³⁾、「道路橋示方書IV下部構造編」(以下、道示IVとする)に示されるケーソン基礎の地盤抵抗の評価式³⁾に基づいたものである⁴⁾。一方キーワード 斜材付き π 型ラーメン橋, 地震時土圧, 再現解析, 評価手法, 斜材

連絡先 〒532-0002 大阪府大阪市淀川区東三国 4-13-3 NEXCO 西日本コンサルタンツ(株)大阪支店 TEL : 06-4807-7735

で、この評価式はケーソンのような鉛直構造物を対象に定義された式で、構造物の壁背面と地盤面のなす角度の影響が考慮されていない。このため、再現解析における斜材に対する背面地盤の受働土圧は「道路橋示方書Ⅰ 共通編」³⁾（以下、道示Ⅰとする）に示される壁面角度の影響を考慮した式が考えられ、これに基づいて受働土圧係数として算出した。

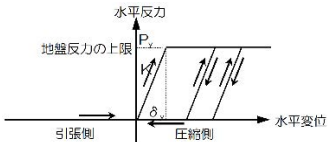


図-4 背面地盤の受働抵抗バネのモデル化の考え方⁴⁾

3.3 再現解析の結果

(1)図-6に斜材地盤反力度の比較結果を示す。図中の再現解析結果は図-5に示す方法により算出した地盤ばねを用いた結果で、ケーソン式による受働抵抗（緑色破線）の計算値は道示Ⅳ 11.5³⁾記載のケーソン基礎の地盤抵抗評価式を用いた結果である。図-6より、ケーソン式による計算値は実験結果と大きく異なる一方で、図-5による受働土圧係数を用いた再現解析では地盤反力度の分布傾向が実験結果と概ね一致することが分かる。ただし、地盤反力度の最大値（図-6中の青線と青破線の最大値）は異なる。これは、理論値では図-3に示すように、再現解析に用いる背面地盤の受働土圧は斜π橋と背面地盤となす初期の角度により算出したのに対し、実験では入力加速度が大きくなるほど、斜材の曲げ変形が天端付近で大きくなることで、斜材と背面地盤となす角度が変化し、斜材天端付近で受働土圧が大きくなったためと考察する。

(2)図-4に示す通りに、背面地盤の影響をばね要素モデルで各部材に対し垂直方向に設置すれば、図-7に示す通りに変形モードが実験とよく一致することが確認できた。

4. 斜π橋の地震時土圧の評価手法の提案

既往研究²⁾及び本稿に示す検討結果から、斜π橋の地震時土圧の評価手法について以下の通りに提案する。

- (1) 主桁端部及び橋脚に対する背面地盤の受働抵抗は道示Ⅳ11.5³⁾の式に従い、地盤反力係数及び地盤反力度の上限値を算出する。
- (2) 主桁・橋脚に作用する背面地盤の受働抵抗の影響は、水平方向に設置する非線形ばねとしてモデル化する。
- (3) 斜材に対する背面地盤の影響は図-4に示す非線形ばねモデルとして評価し、全体骨組モデルにおけるばねの設置方向は斜材の垂直方向とする。斜材背面土の影響の評価方法について、地盤の初期剛性 k_H は道示Ⅳ(解 11.5.2)³⁾に従い算出する。一方で、斜材の変形に伴う背面地盤土圧の変化については実務上簡易的なモデルによる定量化が難しいため、斜材に作用する背面地盤の最大受働土圧係数は、図-5に示す方法で算出することを提案する。

5. おわりに

本稿では既往の遠心模型実験²⁾に対し再現解析を実施したうえで、背面地盤の合理的なモデル化方法について検討した。一方で、図-6に示すように桁端部並びに桁端部付近で地震時土圧が大きくなるため、実務では既往図書等により条件を整理したうえで、特に桁端部付近を中心に解析モデルの精緻化を図った方が良いものと考えられる。

参考文献

1)李 首一,緒方辰男,桑原英明,伊川嘉昭:斜材付きπ型ラーメン橋の耐震性能の検討,I-291,第69回土木学会年次学術講演会,2014.
2)樋口俊一,武田篤史,西谷明晃,長谷俊彦:斜材付きπ型ラーメン橋の地震応答に及ぼす斜材背面地盤条件に関する遠心模型実験,土木学会論文集A1(構造・地震工学),Vol.76,No.4(地震工学論文集第39巻),2020.
3)(社)日本道路協会:「道路橋示方書Ⅰ 共通編」,「道路橋示方書Ⅳ 下部構造編」,「道路橋示方書Ⅴ 耐震設計編」,2012.3.
4)(財)海洋架橋・橋梁調査会:「既設橋梁の耐震補強工法事例集」,2005.4.
5)土木研究所:「既設橋梁の耐震性能評価法の高度化に関する研究」2005.7.

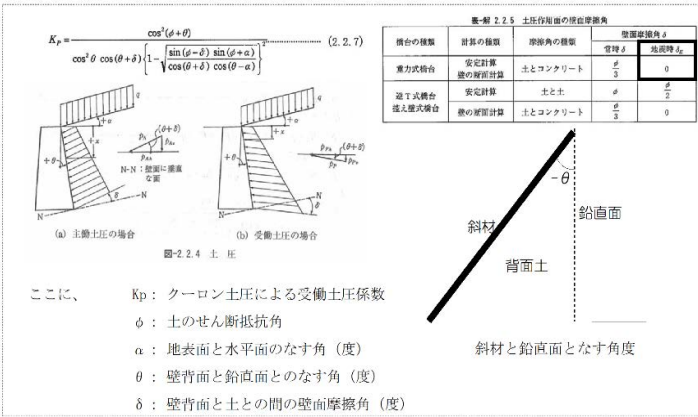


図-5 斜材背面地盤の受働土圧係数の算出方法³⁾に加筆

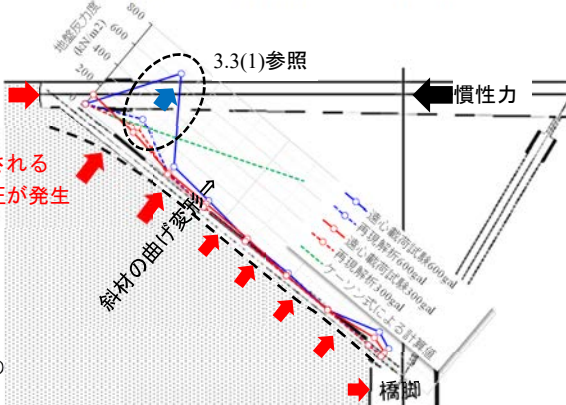


図-6 斜材地盤反力度の比較

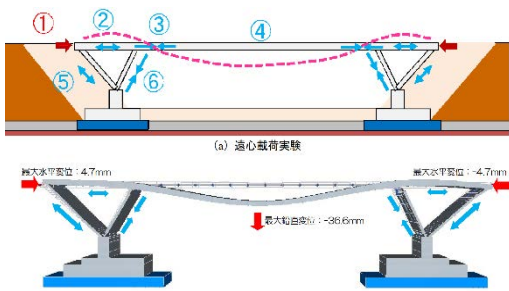


図-7 変形モードの比較