

水管橋の耐震診断、耐震補強設計

「水道施設耐震工法指針・解説2022年版」への対応

合理的な耐震対策のご提案

水管橋の耐震対策(補強・更新)は、その工法により非常に高額な費用が伴います。さらに、下部工直下を対象とする基礎杭や基礎地盤の液状化対策等は施工が困難な場合もあり、耐震補強が未実施のままとなっている水管橋も見られます。

また、比較的簡単な従来手法(静的解析)を用いた耐震診断では、過去の地震被害において報告がない現象を示すことや、地震被害が多数報告されている現象を表現することができず、解析結果と実際の現象に大きな乖離が生じる場合もあります。こういった課題により、円滑に耐震対策が進まないこととなります。

水管橋の地震被害は、上部工と下部工それぞれの変位や相対変位に伴う“伸縮継手部の脱管や破損”による被害が大半です。その中で、“下部工の地盤変位に伴う移動”の影響が甚大な被害につながる危険性が高く、特に沿岸部での液状化に伴う護岸の崩壊と橋台の移動による被害が多数報告されています。また、比較的橋台が高く、撓み性の大きい水管橋を中心に、下部工での地震動の増幅も要因と考えられる“支承部の破損被害”も報告されています。

当社では、実際の地震被害をできるだけ“精度良く”評価できる手法を適用することを第一に考え、無駄な投資とならない耐震対策及び水管橋に要求される地震時の性能に見合った合理的な耐震対策を提案します。

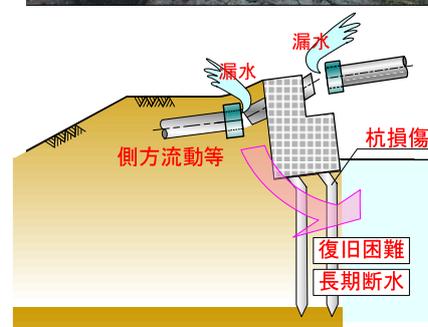


図1 水管橋橋台部の被害イメージ

高度な技術の開発・追及

当社では、全国の水道事業に貢献するため、通常の業務だけでなく、社内の研究開発や耐震基準類の改訂作業等の様々な社外活動を通じて、実際の地震被害の分析やそれに整合する耐震計算法を日々検討しています。また、それらの成果の公表により多方面からの意見をいただき、さらに検討を行っています。これらの取り組みにより、当社では、比較的安価な設計費用にて、最新の基準類に沿ったより精度の高い耐震診断やより効果的な耐震補強対策を提供できるシステムが構築されています。

水管橋についても同様の取り組みを行っており、例えば水道施設耐震工法指針の改訂においては、過去の地震被害調査を行い、地盤の変位に起因する被害が多数であることを明らかにし、2次元動的地盤—構造物連成系モデル(図2)による解析が必要であることを提案した結果、指針の記述ではこの方法が標準となりました。

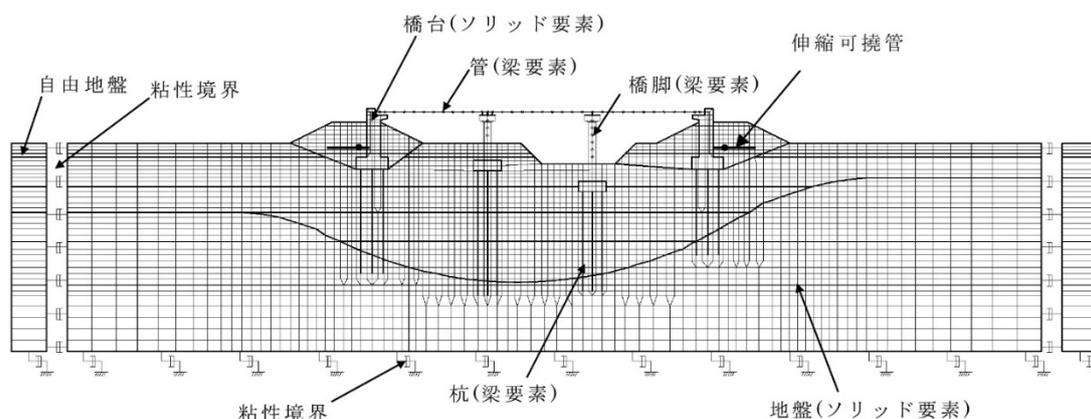


図2 2次元動的地盤—構造物連成系モデル図(例)

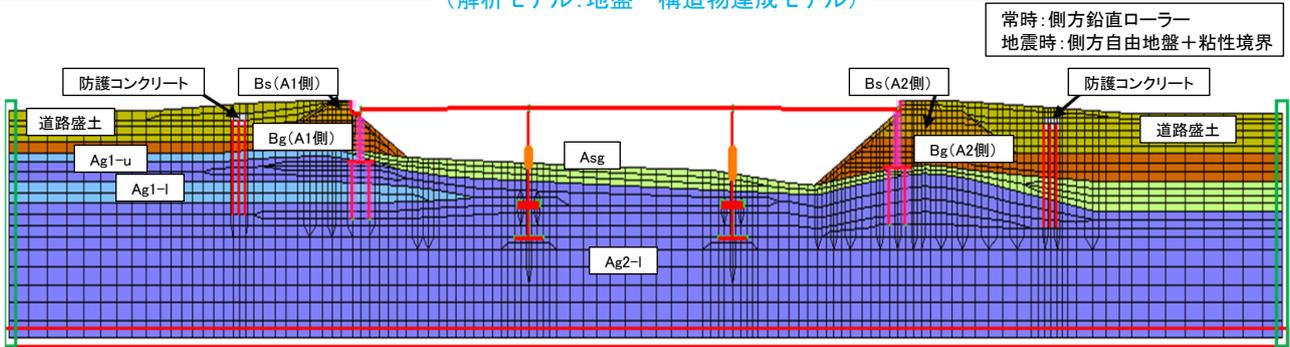
出典:公益社団法人日本水道協会「水道施設耐震工法指針・解説 2022年版」

【精度の高い耐震診断の一例】

耐震計算法の高度化による適切な補強範囲抽出例(従来手法:静的線形解析との比較)

- 耐震計算法の高度化: 動的非線形解析
- 解析モデルの高度化: 地盤-構造物連成モデル(地盤: FEMモデル)
- 液状化の影響: 有効応力解析により液状化による地震動の変化(特に減衰)や地盤の変化を詳細に評価

(解析モデル: 地盤-構造物連成モデル)



常時: 側方鉛直ローラー
地震時: 側方自由地盤+粘性境界

【被害シナリオと確認すべきポイント】

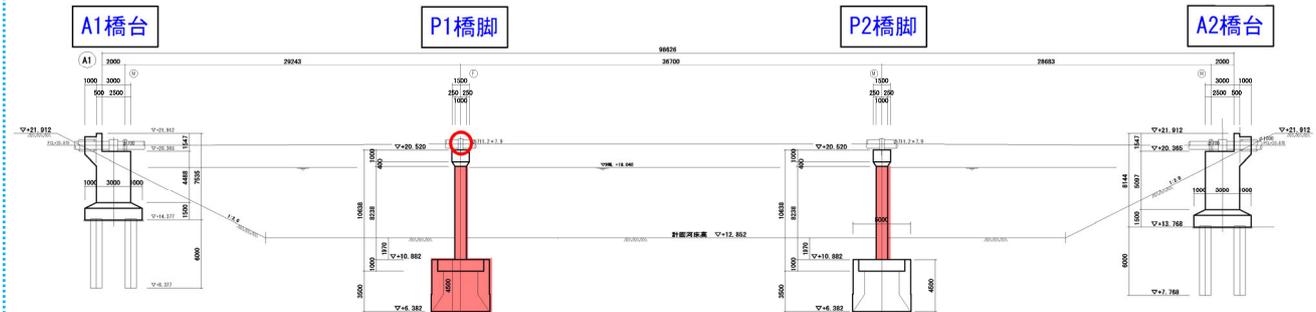
A2側のフーチングがAsg層に載っており、液状化によるAsg層の滑りや、それに伴う基礎の変形の程度を確認する。

常時: 底面固定
地震時: 底面粘性境界

(従来手法による耐震診断結果)

- 耐震計算法: 静的線形解析
- 解析モデル: 構造物独立モデル(地盤: パネモデル)

着色部: 耐震性不足部材(付属物)

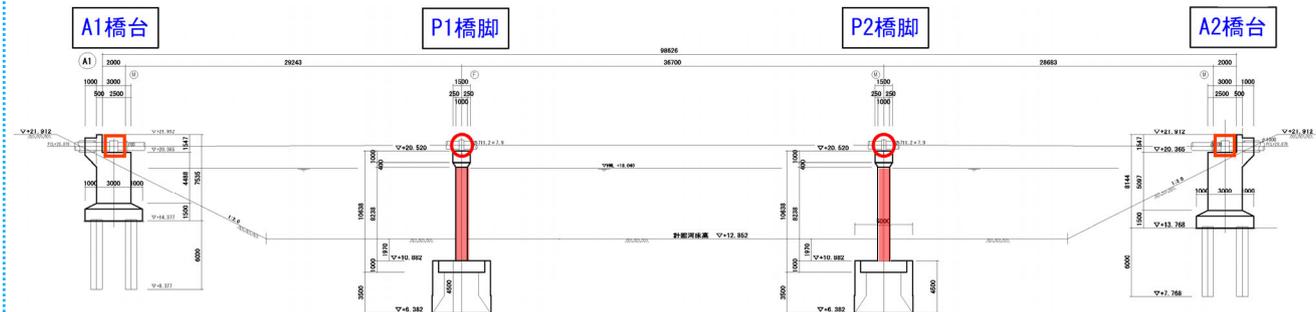


⇒ 橋脚や基礎、リングサポートに耐震補強の必要がある結果となった。伸縮管については補強の必要がない結果となったが、静的解析では動的相互作用は考慮できていないため、伸縮管の移動量に対する照査としては不十分である可能性があった。

(計算法を高度化した耐震診断結果)

- 耐震計算法: 動的非線形解析
- 解析モデル: 地盤-構造物連成モデル(地盤: FEMモデル)

着色部: 耐震性不足部材(付属物)



⇒ 下部工での地震動の増幅が確認されたが、耐震補強箇所は削減され、さらに可動部の相対変位や地震後の基礎の損傷状態を詳細に照査することができた。Asg層の滑りによる杭基礎の変形も微小であるため対策が不要であることが明らかとなったが、伸縮管については補強の必要があることが判明した。

