水管橋の構造解析

長大橋、アーチ橋、多径間橋の耐震診断及び維持管理

現行指針の耐震性能目標

「WSP064-2023 水管橋設計基準(耐震設計編)」(日本水道鋼管協会)や「水道施設耐震工法指針・解説 1997年版」(公益社団法人日本水道協会)では、1995年に発生した兵庫県南部地震においても、上部構造の主構部には被害がほとんどなかったとし、下部工(杭基礎含む)及び支承部・落橋防止構造・添加金物については「レベル2」対応を求めるものの、上部構造の主構部は「レベル1」地震動による許容応力度設計としていました。

しかし、2017年11月に「道路橋示方書・同解説」(公益社団法人日本道路協会)が改訂されたことを受け、「WSP007-2019 水管橋設計基準」及び「水道施設耐震工法指針・解説 2022年版」も、部分係数法を採用することと、上部構造の主構部についても「レベル2」地震動に対して限界状態1を満足するよう、新たな性能を定めました。

過去に耐震診断を実施し、「レベル2」対応になっていると思われている水管橋も、上部工は「レベル2」未対応の可能性があります。

動的解析が必要な水管橋

「水道施設耐震工法指針・解説 2022年版」には、液状化の可能性がある地盤等、地盤変位が大きい場合や、地震時の挙動が複雑である形式の水管橋は動的解析が必要であるとしています。具体的には以下のような水管橋です。

1)固有周期の長い水管橋(一般に1.5秒程度以上)

2)橋脚高さが高い水管橋(一般に30m程度以上)

3)鋼製橋脚に支持されている水管橋

4)弾性支承(ゴム支承)を用いた地震時水平力分散機構を有する水管橋

5)複雑な地震時挙動をすると考えられる水管橋

(1)斜張橋、吊橋等のケーブル系の水管橋

(2)ランガー補剛形式水管橋(各種アーチ補剛形式水管橋)

当社では、上記条件に該当するケースとして、左岸・右岸で地盤条件が異なる場合や、多径間の水管橋において各橋脚、橋台の地震時挙動が大きく異なる場合等は、地盤－下部工－上部工を一体とした地盤連成系モデルによる動的解析が必要であると提案し、解析実績を積み重ねております。

解析事例1:ニールセン・ローゼ橋

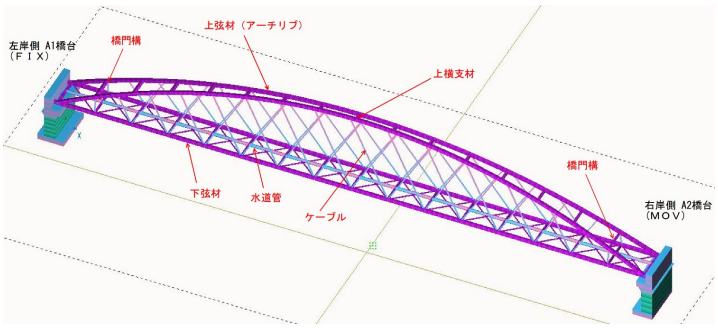

図1 ニールセン・ローゼ橋3次元モデル

橋長130m以上のニールセン・ローゼ形式の水管橋です。 地盤－杭－橋台－上部工を連成モデルで2次元動的非線形解析を実施し、液状化の有無、地盤(護岸)の変位、基礎杭の耐力、可とう継手の伸縮量等を評価しています。

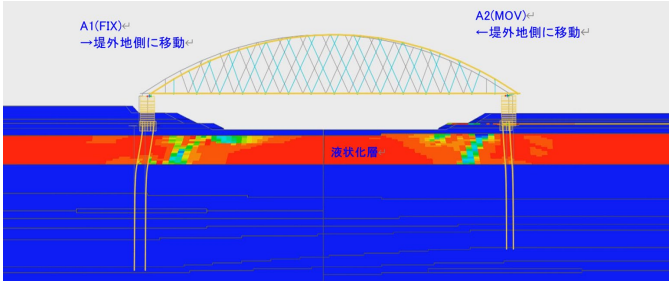

図2 ニールセン・ローゼ橋2次元地盤連成モデル

上部工については、2次元動的非線形解析による沓座位置の時刻歴加速度応答を取り出し、別途3次元モデルに与えて構造解析を実施しています。

解析事例2:多径間フランジ補剛形式

約25m×3径間のフランジ補剛形式水管橋です。地盤の工学的基盤面に傾斜があり、各橋脚・橋台で支持杭の長さが異なるため、地震時の挙動が複雑になることが想定されました。

図3(裏面)に示すように、地盤の傾斜や中間層の層序、下部工のレベル及び基礎杭長の違いを一つのモデルに表現し、動的解析を行うことで、地震時の挙動を把握しております。

また、橋軸直角方向(Tr)については、各橋台・橋脚の動的解析を実施するだけではなく、沓座位置の時刻歴加速度応答を抽出し、水管橋がスネークモーションを起こした場合の水道管の応力や可とう継手の変位量を算出し、水管橋の安全性を3次元的に捉えています(図4)。

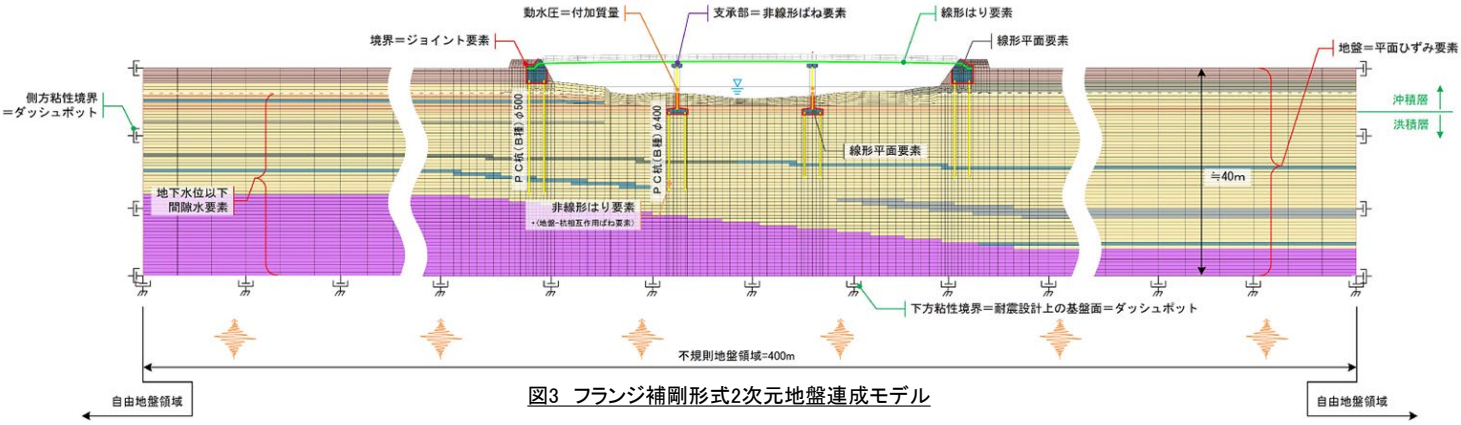

図3　フランジ補剛形式2次元地盤連成モデル

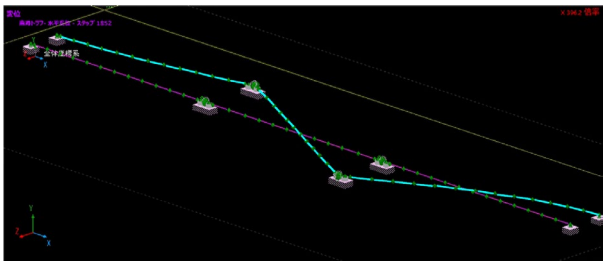

図4　フランジ補剛形式スネークモーション

解析事例3：多径間ランガー橋

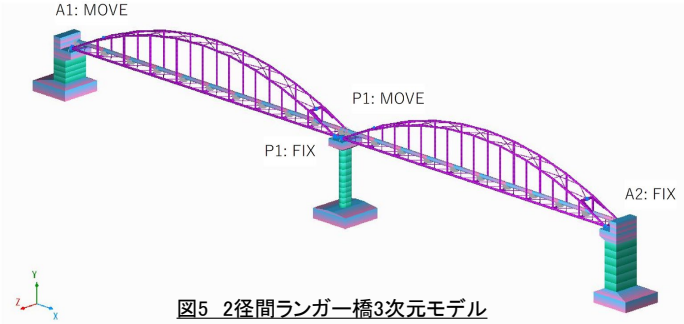

図5　2径間ランガー橋3次元モデル

橋長50m×2径間のランガー補剛形式の水管橋です。右岸側の橋台、中間の橋脚、左岸側の橋台の高さ、支持層となる土層が異なるため、地震時の挙動が複雑になると判断し、地盤ー下部工ー上部工一体の2次元動的非線形解析を実施しました。前述のニールセン・ローゼ橋と同様、上部工については2次元動的非線形解析による沓座位置の時刻歴加速度応答を取り出し、別途3次元モデルに与えて構造解析を実施しています。

崩落シミュレーション解析

和歌山県和歌山市六十谷水管橋の崩落シミュレーション解析です。落橋した径間の吊材の破断本数を調査し、吊材を9本切断した状態で大変形解析（幾何学非線形解析）を実施しました。

自重を漸増載荷させたときに、下弦材及びアーチリブの変形が崩落直前の状況を反映できており、空気弁周囲の水道管の座屈状況も再現できました。

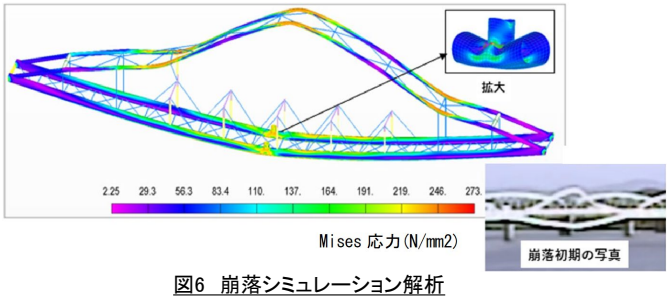

図6　崩落シミュレーション解析

当社では、耐震診断のみならず、吊材が数本破断したときの振動モードの変化と、常時微動計測による解析結果を比較し、水管橋が健全であるかを判定する維持管理技術を開発しております。アーチリブはドローンや遠方からの目視調査が主体ですが、常時微動計測により水管橋の劣化進行具合を解析で確かめることが可能です。

業務実績

受注年度	発注者	業務名称
2021	北海道企業局	石狩工水　伏籠川水管橋耐震補強詳細調査業務委託
2021	和歌山県和歌山市企業局	六十谷水管橋緊急復旧工事監督補助業務委託
2022	北海道中標津町	標津川水管橋耐震診断委託業務
2022	北海道企業局	石狩工水　取水管理橋耐震補強詳細調査業務委託
2022	広島県水道広域連合企業団	黒瀬（南方）地区水管橋耐震診断調査業務

潤いある未来へ
株式会社 日水コン

お問合せ先　コンサルティング本部 構造設計部
本社　〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1（新宿スクエアタワー）
TEL. 03-5323-6286