

都市部水管橋における耐震診断と、 周辺支障物を踏まえた耐震補強対策の検討事例



横田 真育
 構造技術本部 構造部 構造橋梁グループ
 主任
 コンクリート構造診断士
 m.yokota@nix-japan.co.jp



丸山 貴弘
 構造技術本部 構造部 構造橋梁グループ
 担当課長
 RCCM(鋼構造及びコンクリート)
 t.maruyama@nix-japan.co.jp

1 はじめに

都市部の管路ネットワークの多くは地下に埋設してあるが、水管橋により河川を架空で横断しているものが存在する。近年、豪雨災害が頻発しており、都市部においても水管橋や添架管に被害が発生している。加えて、大規模地震の切迫性が指摘されており、バックアップ機能が確保されていない水管橋や添架管が流出した場合、復旧に時間を要し、断水等の影響が長期化する恐れがある。このような問題等に対し、行政では水管橋や添架管の地中化対策を推進しているところであるが、すべての水管橋等に対策を実施するためには、長時間かつ膨大な費用が必要であり、実施に至るまでの施設の耐震性の担保が課題となる。

また、大都市部においては、空頭の制限、狭隘空間、既存構造物近接での施工は避けて通れず、多数の周辺支障物や制約条件を考慮した対策の立案も課題である。

本稿では水管橋の耐震診断事例について紹介するとともに、都市部狭隘地における周辺支障物や制約条件を踏まえた耐震補強対策の検討事例について紹介する。

2 対象水管橋

当橋梁は、古くは河川であった親水公園を横過する道路橋の上流・下流それぞれに架かる配水本管である。基本事項を表-1に、橋梁位置を図-1に示す。図-2、図-3は耐震診断を行う上で、既設橋が保有する留意点を3次元的に可視化したものである。

表-1 基本事項

橋名	A橋	B橋
	管径	配水本管φ2000mm
上部工形式	単径間単純支持パイプビーム	3径間単純支持パイプビーム
下部工形式	橋台: RC曲管防護(逆T式)	橋台: RC曲管防護(重力式) 橋脚: パイルベント橋脚
基礎工形式	橋台: 鋼管杭	橋台: H形鋼杭
橋長(支間長)	52.2m(44.0m)	46.9m(12.97m+15.34m+12.97m)
占用河川	親水公園	親水公園
橋齢	54年	58年

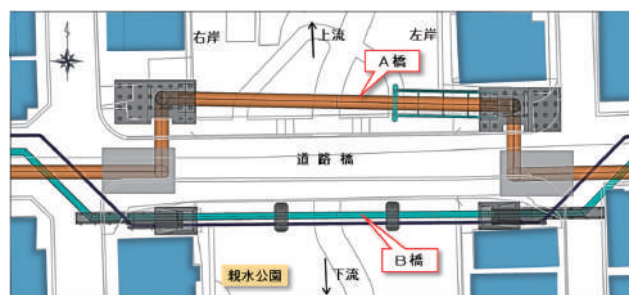


図-1 橋梁位置

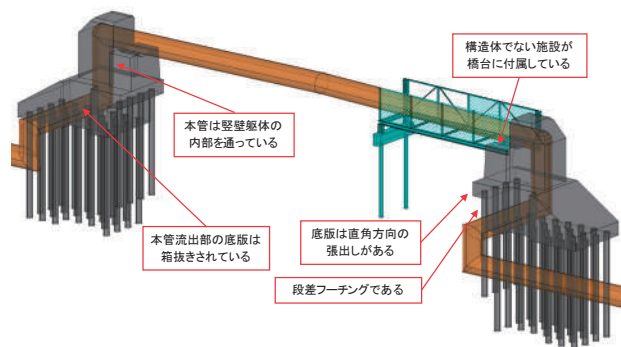


図-2 A橋 3次元既設モデル

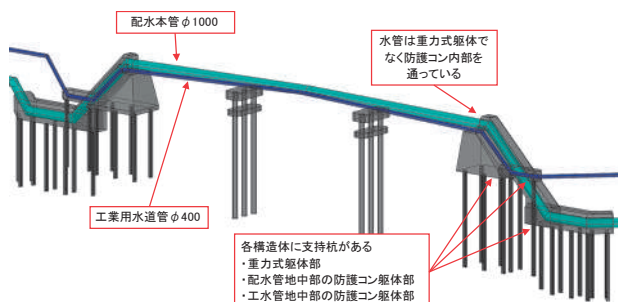


図-3 B橋 3次元既設モデル

3 耐震診断

本稿では、B橋の耐震診断について紹介する。本橋は構造的にシンプルな3径間の単純支持パイプビームであり、橋脚高さも低く、地震時の挙動が複雑でないため、静的解析法を用いて耐震性能の照査を行った。

(1) 橋台の耐震診断

橋台の躯体寸法やコンクリート強度、鉄筋径やピッチ等の条件は、竣工図等の既存資料を基に設定し、不明な情報については現地コア抜きによる材料試験や、鉄筋はつり調査、現地寸法計測により補足した。地盤条件は近傍の地質調査結果を用い、Ⅲ種地盤と判定、また、レベル2地震時に液状化すると判定された。B橋においては、橋台杭基礎の形式について、塑性変形が期待できず耐震性に乏しいH形鋼杭と想定されたため、レベル1及びレベル2地震時で照査NGとなった。(図-4)

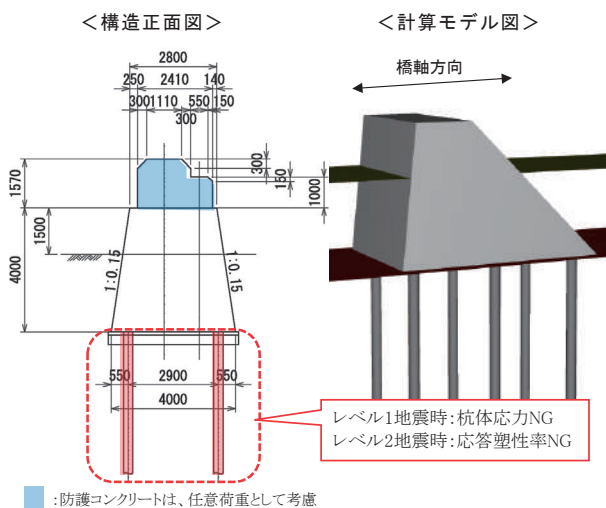


図-4 橋台の耐震診断結果

(2) パイルベント橋脚の耐震診断

パイルベント橋脚とは、杭を沓座付近まで立ち上げ、杭頭部を梁で連結したシンプルな構造であり、縮切等が不要であるために、過去に数多く採用されてきた。しかしながら、非常にフレキシブルな構造であるために、地震時の応答変位が大きくなり、耐震性に劣る場合が多い。また、その形状から治水上の支障があるため、昭和51年に施工された河川管理施設等構造令より原則禁止となり、以降の架設は少なくなったが、それ以前に建設された橋脚が多数現存する。

今回対象とするパイルベント橋脚は、一般によく見られる橋軸方向に1列に配置された単列杭配置であり、橋軸方向の剛性が乏しく、基礎体が降伏した時点で変位が急増する。

パイルベント橋脚の静的照査は、パイルベント橋脚の枕梁をフーチングと仮定し、突出した2列の杭として地震時保有水平耐力法により行った。なお、前述の通り、周辺地盤は液状化層を含むため、耐震性の判定は、基礎の塑性化を許容することとし、応答塑性率により照査を実施した。

耐震性能照査の結果、レベル2地震時で本パイルベント橋脚には降伏は発生せず、結果的に塑性率照査を行う必要がないものとされたことから、現行基準を満足する耐震性能を有することが確認された。(図-5) 一般に耐震性能に乏しいとされるパイルベント橋脚であるが、今回対象とした橋梁は水管橋であり、道路橋などに比べて重量が比較的軽く、特に、橋軸方向の慣性力については、通水管と管内水が一体に挙動することがないために、水重に起因する慣性力は考慮しないことが、作用力を低減させている大きな要素であった。

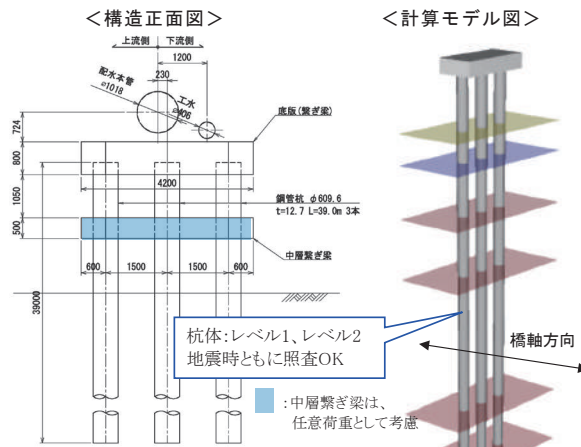


図-5 パイルベント橋脚の静的照査モデル

(3) 伸縮可撓管の耐震診断

伸縮可撓管は、主に、温度変化による鋼材の伸縮の変位吸収や、建設時のキャンバー(たわみ)変化の吸収、施工誤差の吸収、地震時の橋台・橋脚間の相対変位差の吸収のために設置される。既設伸縮管の竣工図面は無かったが、一般図の記載と現地状況から、ドレッサー型と判定された。建設当時のドレッサー型継手は、一般的に規格がなく、現場毎にオーダーメイドで設計されていた。このため、竣工図がない本橋では、許容伸縮量の設定が課題であった。

本業務では、許容伸縮量の設定に資する情報を得るため、超音波探傷器を用い、伸縮管の端部から本管の挿し込み量を測定した。本管より伸縮管の方向へ、超音波を走査させ、管端部で反射して戻ってくる時間を測定し、挿し込み量を算出する。(図-6)ただし、実際はスリーブの内側にはゴム輪があり、その詳細

な距離は伸縮可撓管を外してみないと測定が出来ないため、測定した値(挿し込み量)は実際の許容伸縮量とは異なるものであるが、参考値として取り扱うこととした。

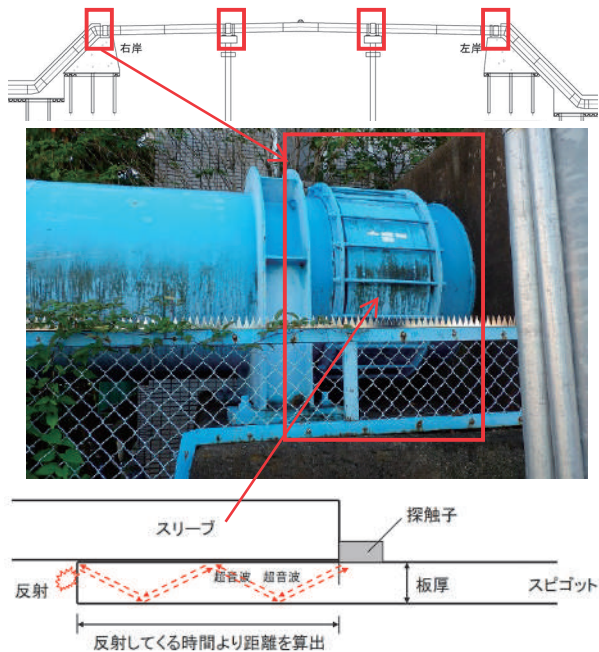


図-6 伸縮管の本管挿し込み量の調査

耐震診断の結果、レベル2地震時の移動量に対して照査を満足しない結果となった。これは、静的解析では下部工間の相対変位量から伸縮管に生じる移動量を設定するが、前述の通り、橋台の杭形式は塑性化が全く期待できないH形鋼杭であるために橋台の応答変位量が非常に大きくなるためである。このため、本橋において大規模地震時に伸縮管からの逸脱を防ぎ、地震時も通水性能を阻害しないためには、伸縮可撓管の取替による対策だけでは満足せず、橋台杭基礎の耐震性能の向上による応答変位量の低減を図ることが必要となった。

表-2 伸縮可撓管の耐震診断結果

伸縮管	照査荷重	単位	移動量	許容値	判定
第1径間 (右岸側)	レベル1	(mm)	+26,-25	±205	OK
	レベル2	(mm)	+842,-841		NG
第2径間 (中央)	レベル1	(mm)	+20,-18	±201	OK
	レベル2	(mm)	+175,-174		NG恐れ有*
第3径間 (左岸側)	レベル1	(mm)	+26,-25	±200	OK
	レベル2	(mm)	+665,-664		NG

*現地計測した挿し込み量は参考値であり、移動量に対し余裕がないため、恐れ有とした。

4 耐震補強工法の提案

(1) 落橋防止システム

既設の伸縮可撓管は、レベル2地震時の移動量に対し、許容飲み込み量を超過するため、対策を講じる必要がある。また、次項に示す増杭により、レベル2地震時の橋台の応答変位は既設に比べ大きく低減さ

れるが、なおも既設の伸縮管では飲み込み量が不足する結果となった。このため、施工条件としては、本路線の一時的な断水が可能であったため、伸縮管の取替を提案した。断水後に既設伸縮管を撤去し、リペアスリーブジョイントを被せてボルト接続により取付けることで、伸縮可撓管の性能向上を行うものである。

その他、落橋防止システムとして機能が不足していた支承縁端距離の確保のための橋座拡幅工法や、伸縮管からの漏水を防止する目的で設置が必要な落橋防止構造、橋軸直角方向への落橋を防止する横変位拘束構造について、複数案から比較を行い、提案を実施した。

(2) 橋台の耐震補強工法

前述の通り、橋台杭基礎の対策が必要となったが、既設のH形鋼杭は塑性化が全く期待できない部材であるため、増杭による対策は避けて通れない。周辺支障物としては、側方には民家が張り付き、反対側には道路橋が近接、その地下には同局が管理する立坑が存在、橋台背面は本管の埋設がある。また、橋台前面は本管の架空部であるために、増杭は空頭制限下での施工となる。(図-7)



図-7 B橋 周辺支障物

増杭の検討においては、既設杭の耐震性能を無視し、増杭のみで耐震性能を確保できる方針で工法の立案を行う。鋼管杭による増杭(①案)は最低でも桁下が6.0m必要であるが、一方で高耐力マイクロパイル(②案)は桁下が4.5mあれば施工が可能であり、施工時の桁下の掘込みがより省規模とできる。そうならば近接する民家や立坑、道路橋や護岸などの周辺構造物への影響もまた小さく抑えることが可能なため、杭単独の施工費は他工法に比べて高くなるものの、施工性に優れる②高耐力マイクロパイルによる増杭を推奨案とした。(表-3)補強概要を示した3次元モデルを図-8に示す。

5 おわりに

本業務の成果は、今後、発注が想定される詳細設計業務の予備資料となるものである。検討業務時点から課題を3次元表示により可視化することで、経済性や構造的、施工性等の観点から合理的に評価・分析することが可能となり、後プロセスにおける手戻りをなくし、水道事業を推進するうえでの生産性向上に寄与できたものとする。

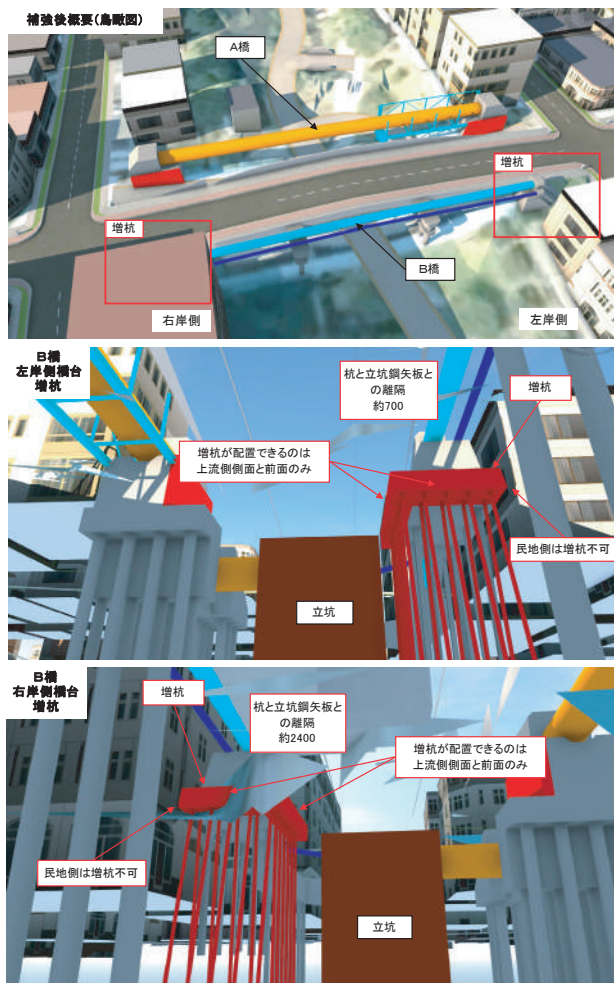


図-8 B橋 3次元補強概要モデル

表-3 B橋橋台部 補強工法選定結果

	①増杭：鋼管杭(SPACE21工法) φ600 既設杭無視	②増杭：高耐久マイクロパイル工法 φ177.8 既設杭無視
概要図 (前面→)		
杭長、杭本数	杭長 32.00m、杭本数 7本、鋼管径 φ600	杭長 35.00m、杭本数 15本、鋼管径 φ177.8
施工概要図		
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> 基礎補強は空頭制限下の施工となり、低空頭対応工法として、SPACE21工法を採用する。 SPACE21工法は回転圧入中掘鋼管杭打設工法であり、施工機械が小さいため、狭小箇所・空頭制限下の施工に適している。 空頭制限は6.0mの場合、単杭長は2.0m程となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 基礎補強は空頭制限下の施工となり、低空頭対応工法として、高耐久マイクロパイル工法を採用する。 高耐久マイクロパイル工法は、杭径300mm以下の小径杭であり、異形棒鋼と高強度の鋼管を埋め込むことで高耐久・高支持力の杭を築造するもの。 施工機械が小さいため、狭小箇所・空頭制限下の施工に適している。 空頭制限は4.5mまで対応可能。
経済性	杭単独の施工費では、②案に比して経済的である。	○ 杭単独の施工費では、①案に比して費用が掛かる。
環境への適応性	桁下は2.4~3.0m程影り込む必要があるため、②案に比して周辺環境への影響が大きい。	× 桁下は1.3~1.8m程影り込む必要があるが、①案に比して周辺環境への影響は小さい。
総合評価	杭施工の経済性は優れるが、周辺環境への影響が②案に比して大きい。	△ ①案に比べ、杭施工の経済性は劣るが、周辺環境への影響は小さい。土工、撤去・復旧工等を含む全体工事費を考えると、①案との差は縮まるものと推定する。