

# 常盤橋修理工事基礎構造の修理・補強に係る解析業務

澤村 康生\*・木村 亮\*\*

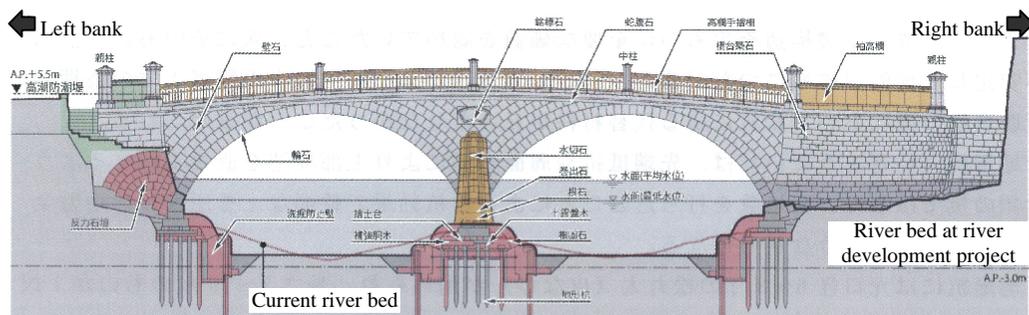
## 1. 研究の目的

国指定史跡 常盤橋門跡常磐橋（以下、常磐橋）は 1877 年（明治 10 年）に架橋された二連石造アーチ橋である。東北地方太平洋沖地震の影響により石積みの変位・膨張が確認され、災害復旧事業として文化庁と東京都からの補助を受けて、平成 23 年度より解体・修理工事が進められている。常磐橋は国指定史跡常盤橋門跡内の一部であるため、架橋当時の構造を活かした補修が求められているが、都の河川整備計画により、河床の掘削が予定されている。そこで橋脚基礎については、解体工事に用いる矢板を活用して既存の木製群杭基礎を補強する計画が進められている(Fig. 1)。

本研究では、常磐橋を対象に、架設当時の耐震性について検討するとともに、矢板を用いて耐震補強した構造の耐震性について解析的に検討を行った。なお、本稿で示す研究成果が実際の補修事業に反映されるかは今後の検討によるものであることに注意されたい。

## 2. 研究の方法

本研究では、3次元弾塑性有限要素解析コード DBLEAVES<sup>1)</sup>を用いた。Fig. 2 に常磐橋周辺における地層図を示す。当該箇所は第四紀更新世である東京層の泥層 (Tc 層 : N 値 2 程度) が広く堆積しており、非常に軟弱な地盤であるといえる。地盤の構成則には、subloading  $t_{ij}$  model<sup>2)</sup>を用いた。Tc 層は現地から採取した試料の CU 試験および等方圧密試験の結果からパラメータを決定した。また、同パラメータを用いて、現地で行われた単杭の鉛直および水平載荷試験の再現解析を実施し、パラメータの確認を行った。砂・礫質系の層 (Ts 層, Tg 層, Sandy fill, Back fill) については、豊浦砂のパラメータを用い、N 値に応じて相対密度を変化させた。Clayey fill については、藤森粘土のパラメータを準用した。一方、石積み部分、シートパイル、木杭はそれぞれ花崗岩、鉄材、松の一般的な物性を用いて弾性体としてモデル化した。Fig. 3 に解析メッシュを示す。石造アーチにおける石材は空積みであることから、地震時の振動が減衰しやすい構造であると考えられる。そこで、既往の研究<sup>3)</sup>を踏まえ、減衰定数を 5%とした。他の部材については、地盤とシートパイルのいずれも減衰は 5%と仮定した。入力地震動には、道路橋示方書<sup>4)</sup>のレベル I 地震動を用いた。



Red: reinforcement. Gray: Rehabilitation after demolition, Yellow: Anastylis, Green: Maintenance

Fig. 1 Cross section of restoration plan

\*京都大学・大学院工学研究科・助教, \*\*京都大学・大学院工学研究科・教授

### 3. 得られた成果

石造アーチ橋の場合、輪石の安定性を保つためには、両脚部の相対変位を小さくする必要があります。そこで Fig. 4 には、左右のアーチについて、アーチ脚部における相対変位の時刻歴を示す。Fig. 4 より、加振に伴って、アーチ脚部の相対変位は、左右いずれのアーチにおいても狭まる方向に蓄積していくことが確認できる。それぞれのケースを比較すると、従来の基礎構造で最も大きな相対変位が発生しており、その累積変位も大きくなっていることが確認できる。一方、復旧工事を行ったケースでは、相対変位が大幅に減少しており、残留変位についても抑制効果が認められる。河床掘削による影響は、別途中央橋脚を対象に行ったプッシュオーバー解析と同様にわずかであった。

Fig. 5 には、右側のアーチで大きな相対変位が発生した 4.7 秒付近に着目し、両方の輪石に発生する軸応力の分布を示す。ここでは、地震動による影響に着目し、初期値からの増減を示している。Fig. 5 より、両方のアーチにおいて、アーチ頂部から左脚部にかけては軸応力が増加しているが、右脚部では軸応力が減少していることが確認できる。ケースを比較すると、大きな相対変位が発生していた従来の基礎構造において、軸応力の減少量も最大となっていることがわかる。つまり、復旧工事により、アーチ脚部間の相対変位だけでなく、アーチの軸応力の減少量についても抑制する効果が期待できることが明らかとなった。

### 4. 謝辞

本研究は、株式会社文化財保存計画協会より委託されたものであり、関係各位に謝意を表す。

### 参考文献

- 1) Ye, B. et al.: Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction-consolidation of sand, *Soils and Foundations*, 47(3), 547-558, 2007.
- 2) Nakai, T. and Hinokio, M.: A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, *Soils and Foundations*, 44(2), 53-70, 2004.
- 3) Elmenshawi, A. et al.: Damping mechanisms and damping ratios in vibrating unreinforced stone masonry, *Engineering Structures*, 32(10), 3269-3278, 2010.
- 4) Japan Road Association.: Specifications for Highway bridges part5 Seismic Design ver 2012, 2016.

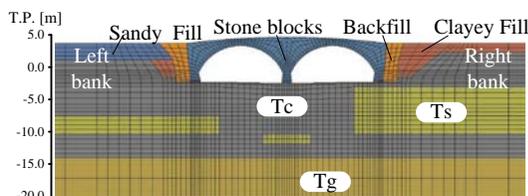


Fig. 2 Geological strata below Tokiwa bridge

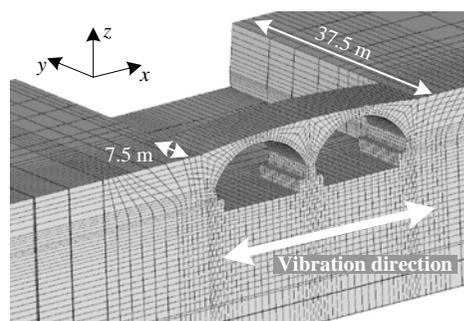


Fig. 3 Analytical mesh for dynamic analysis

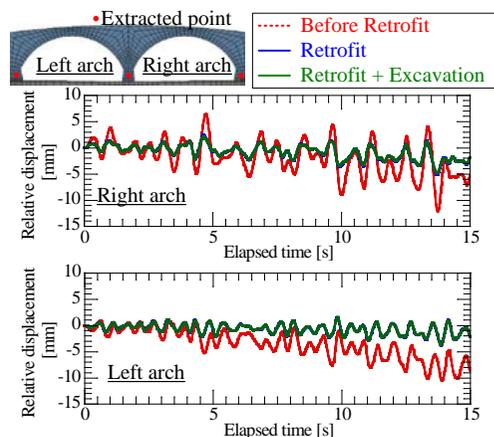


Fig. 4 Relative displacement of arch feet

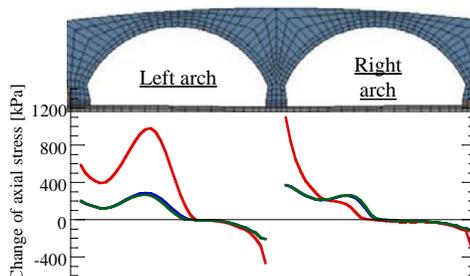


Fig. 5 Change of arch axial stress at maximum relative displacement around 4.7 seconds