

## 総合的合理性判断に基づく橋台基礎の塑性化に関する一考察

四国建設コンサルタント 法人会員 ○岩淺 友輔 四国建設コンサルタント 法人会員 池田 一郎  
 四国建設コンサルタント 法人会員 山口 正人 四国建設コンサルタント 個人会員 村田 士

### 1. はじめに

橋梁基礎工の設計に際して、道路橋示方書(以下、道示)では、総合的な合理性を踏まえて基礎に主たる塑性化を考慮するか判断することとされている。ここでH24道示では、液状化地盤上に計画される基礎等、基礎に塑性化を考慮しない設計が不合理となる場合が例示されていたが、H29年道示において、このような目安事例に関する記述は削除されるとともに、合理性判断の指標として震後対応についても十分に検討するよう改定された。

本稿では、陸上部に計画される橋台基礎を例に、震後の各復旧段階に応じた要求性能及び対応を整理するとともに、総合的合理性判断に基づく橋台基礎の塑性化に関する一考察を述べる。

### 2. 合理性比較検討(ケーススタディ)

本稿にて対象とする橋台の概要と合理性比較検討結果、基礎の計算結果を表-1に示す。当該橋梁は陸上部に計画され、点検・補修等が比較的行きやすい架橋条件である。ここで、総合的な合理性は、橋梁計画における評価を参考に、「経済性」「施工性」「構造的」「周辺影響・環境性」ならびに「震後対応」の5項目から評価した。

検討の結果、基礎に塑性化を考慮した場合が杭基礎の規模を大幅に縮減できるため、経済性、施工性、構造的、周辺影響・環境性で優位性を示す。なお、震後対応については、架橋地点の制約を踏まえ、設計段階から震後の状態を予見し、その対応を十分に検討する必要がある。以下に詳細を記す。

#### 2.1. 震後の基礎の状態

震後の対応について検討する上では、基礎の塑性化(降伏)の定義に応じた震後の基礎の状態を把握することが重要である。基礎の塑性化(降伏)について、道示では「作用荷重の増加に対して、上部工慣性力作用位置での水平変位が急増し始めるとき」と定義され、杭基礎の場合は「全ての杭において杭体が塑性化する」状態が塑性化の一つの目安とされている。図-1にこれらのイメージを示す。塑性化を考慮する設計においては、基礎を構成する全杭が降伏に達するものの、道示上の制限値である許容塑性率3以下を満足する。一方、塑性化を考慮しない場合においても全ての杭が弾性域に収まるものではなく、一部の杭と杭頭地盤は塑性化する状態となる。

#### 2.2. 震後対応の評価

震後対応は、震後直後の橋の供用に対する応急的な復旧段階と、再度の大地震及び常時の供用に対する恒久的な復旧段階を想定する。この各復旧段階における要求性能を整理し、それらへの対応を評価するものとした。表-3に各復旧段階における要求性能ならびにその評価指標を示す。

表-1 橋台概要・合理性検討結果

比較案	基礎に塑性化を考慮する設計	基礎に塑性化を考慮しない設計				
架橋条件	【橋梁形式】鋼単純少数1桁橋 【架橋地点】陸上部の高架橋(施工ヤード確保可能) 【地盤条件】液状化地盤					
平面図						
構造諸元	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底版寸法 10.5m×22.3m×2.5m</li> <li>・場所打ち杭: φ1500、n=15本</li> <li>・コンクリートσ<sub>ck</sub>=24N/mm<sup>2</sup>、</li> <li>・鉄筋 SD345 D32-24本</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・底版寸法 14.3m×33.0m×2.2m</li> <li>・場所打ち杭: φ1500m、n=36本</li> <li>・コンクリートσ<sub>ck</sub>=24N/mm<sup>2</sup>、</li> <li>・鉄筋 SD345 D38-30本</li> </ul>				
合理性検討結果	構造的性 ○ 施工性 ○ 周辺影響・環境性 ○	構造的性 △ 施工性 △ 周辺影響・環境性 △				
	震後対応 ○ 経済性比率 (1.00)	震後対応 ○ 経済性比率 (2.909)				
着目杭	前列杭	中・後列杭	前列杭	中列杭	後列杭	
杭体	Mmax	4086 kN・m	2760 kN・m	5782 kN・m	4851 kN・m	4386 kN・m
	My	4086 kN・m	2546 kN・m	5416 kN・m	5416 kN・m	4286 kN・m
判定	降伏(1.00)	降伏(1.08)	降伏(1.07)	弾性	降伏(1.02)	
杭頭地盤反力	発生値	23.9 kN/m <sup>2</sup>	11.9 kN/m <sup>2</sup>	19.9 kN/m <sup>2</sup>	9.9 kN/m <sup>2</sup>	9.9 kN/m <sup>2</sup>
	判定	降伏	降伏	降伏	降伏	降伏
応答塑性率	タイプI	タイプII	タイプI	タイプII		
	1.820	2.488	-	-		

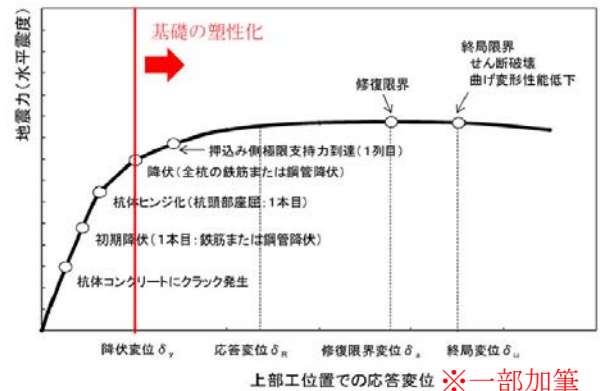


図-1 杭基礎の水平震度と変位の関係<sup>2)</sup>

表-3 震後対応における要求性能と合理性評価指標の設定

復旧段階	要求性能	評価指標
応急的な復旧	①健全性判定の可否	震後直後の橋の供用に対して基礎の健全性を容易に判断可能であるか
	②通行性の確保	基礎の変状によって想定される異常が震後直後の橋の供用を妨げないか
恒久的な復旧	③再度の大地震に対する耐荷性能	再度の大地震に対する耐荷能力が担保されているか
	④常時の供用に対する耐荷・耐久性能	無補修・簡易な補修で常時の耐荷・耐久性能を確保できるか
	⑤基礎の補修の容易性	想定外の基礎の損傷に対する調査と補修が容易であるか

基礎に塑性化を考慮する設計における震後対応の評価を以下に記す。

①健全性判定の可否：橋台は抗土圧構造物のため、土圧偏載荷の影響から生じる残留変位は一方向(前面側)に累積されることとなる。したがって、堅壁等の地上部材の変形角を観測することで、その損傷程度が設計での想定内のものであるかを判断可能である。

②通行性の確保：基礎の変状によって震後に想定される異常と対応策を図-2に示す。例えば、残留変位に伴う遊間異常は単純桁としての構造的特徴と橋台の残留変位の累積方向から遊間は縮まる方向となるため、通行を妨げる状態とはならないと判断する。

③再度の大地震に対する耐荷性能／④常時の供用に対する耐荷・耐久性能：図-3に示す許容塑性率の工学的意義より、基礎の応答塑性率が許容塑性率以下となることを満足することで、これらは担保されると考える。

⑤補修・補強の容易性：許容塑性率の工学的意義を踏まえると、基本的には補修・補強は必要ないと想定されるものの、対象橋梁は想定外の損傷に対して調査や補修・補強の際に必要な施工ヤードが確保可能な条件である。このため、掘削を伴う補修や増し杭工法による補強も可能であり、補修・補強の容易性は担保される。

以上より、対象橋台においては、震後の対応についても一定の合理性を有すると判断した。参考として、同様の架橋条件に計画される橋脚基礎にて、塑性化を考慮する設計を行う場合における震後対応の合理性評価結果を表-4に示す。

残留変位に伴う遊間異常  
→単純桁の特性と橋台の残留変位の累積方向から遊間は縮まる方向となるため、通行を妨げない

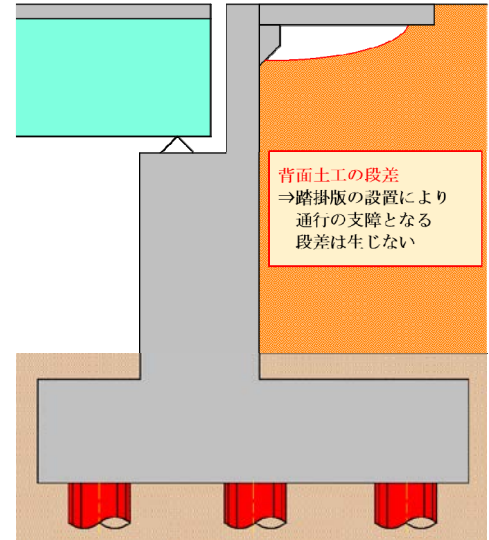


図-2 震後に想定される異常と対策

- (1) 基礎が最大強度相当の強度を発揮している状態を超えないこと
- (2) 基礎は過大な損傷には達せず、地震後も無補修のままでも橋の供用に影響を与えない状態にとどまること
- (3) 無補修のままであっても、再度の大地震に対して初期と同等の残存耐荷力を有すること
- (4) 最大強度に達するまでに吸収するエネルギーと同等以上の残存エネルギー吸収能を有すること

図-3 許容塑性率の工学的意義<sup>3)</sup>

表-4 橋脚基礎に塑性化を考慮する設計の震後対応の合理性評価

復旧段階	要求性能	評価	備考
応急的な復旧	①健全性判定の可否	△	残留変位が一方向に累積されないため、想定外の損傷が生じている場合でもほぼ震前の状態に戻る可能性があるため、健全性の判断が困難
	②通行性の確保	△	上部工遊間が広がる方向に変位が生じ通行を妨げる可能性がある
恒久的な復旧	③再度の大地震に対する耐荷性能	○	許容塑性率を満足することで性能は担保
	④常時の供用に対する耐荷・耐久性能	○	橋台と同様に問題ないと判断する
	⑤基礎の補修の容易性	○	橋台と同様に問題ないと判断する

3. まとめ

○:性能を十分に担保 △:性能の担保に懸念が残る

震後の各復旧段階に応じた要求性能を整理し、陸上部に計画される橋台を例に、基礎の塑性化について総合的な観点から合理性判断を行った。陸上部に設置され、かつ狭隘な架橋条件でない橋台基礎については、上記の考察をもとに基礎に塑性化を考慮する設計が合理的である場合が多いと推測される。部材に塑性化を考慮するか否かについては、総合的合理性判断のもと十分に吟味して判断する必要があり、設計者・道路管理者ともに、構造物の特性及び道路ネットワーク全体を俯瞰した高い判断能力が求められる。

参考文献

- 1) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 (H24,H29)
- 2) 土木研究所 2010:既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究
- 3) 土木研究所 2009:性能規定体系における道路橋基礎の安定照査法に関する研究