

アーチ型2柱式RC橋脚における石張りのモデル化に着目した解析的検討

八千代エンジニアリング(株) 正会員 舟山 淳起 八千代エンジニアリング(株) 非会員 吉川 明宏
 八千代エンジニアリング(株) 正会員 伊藤 均 八千代エンジニアリング(株) 非会員 土橋 文彦
 八千代エンジニアリング(株) 正会員 鵜飼 昌寛 八千代エンジニアリング(株) 非会員 澤田 潤二

1. 緒言

本研究では、躯体表面に石張りを有するアーチ型2柱式RC橋脚(図-1)¹⁾を対象とし、石張りのモデル化有無、石張り界面のモデル化(せん断抵抗力の大小)に着目した耐荷性能の差異について解析的に比較検討した。解析は、3次元有限要素(FE)モデルを適用し、石張りのモデル化有無、石張り界面のせん断抵抗力(摩擦係数 μ)の大小を変化させた全5ケースで実施した。本検討は、既設構造のリニューアル(補修・補強等)を念頭に置き、安全性、供用性(通常利用の可否、使用目的の制限要否)、大規模地震発生後の修復性等の評価に資する地震時耐荷性能を把握するための一環として実施した¹⁾。

2. 解析概要

対象橋脚(図-1)は、表面に厚さ46cmの石張りが配置されたアーチ型2柱式RC橋脚であり、橋脚高さが低く、円弧状の開口部を有し、竣工年次が古い(昭和初期)ため配筋量が比較的少ない構造である。構造条件から、通常の曲げ変形が卓越するRC柱式橋脚に対して耐荷機構や破壊形態が異なり、また、躯体表面の石張りブロック間、石張り-コンクリート間の連成挙動があるため、単純化したフレームモデルでは実構造の評価が困難である。なお、対象橋脚は、石張りを型枠替わりにしてコンクリート打設され、内部コンクリートとある程度一体化した構造であり、石張り界面は圧縮およびせん断に対して抵抗力を有すると考えられる。

本研究では、上記の構造的特徴を踏まえ、対象構造の挙動をより精緻に評価するために3次元FEモデルを適用した(図-2)。解析は、石張りのモデル化有無、石張り界面のせん断抵抗力(摩擦係数 μ)の大小を変化させた全5ケース(表-1)に対して、材料非線形を考慮した3次元非線形静的解析を実施した。解析モデルの材料特性、要素種類を表-2~3に示す。材料構成則は、鉄筋:パイリニアモデル、コンクリート:圧縮・引張軟化モデル⁵⁾、石張り:弾性モデル(花崗岩)とした。case2~5の石張りブロック界面、石張り-コンクリート界面には、インターフェース要素を定義し、せん断抵抗のモデル化は、接触面の作用力(垂直方向圧縮力)に比例するクーロン摩擦を適用した(摩擦係数 μ :表-1)。載荷方法は、上部構造反力5,720kNおよび橋脚自重を鉛直下方に載荷後、上部構造、橋脚躯体の慣性力を水平方向(表-1)に漸増載荷した。

表-1 解析ケース・比較検討の着目点

Case	解析方向 (載荷方向)	石張りの モデル化	石張り界面のモデル化		比較検討の着目点
			圧縮剛性	せん断抵抗 (摩擦係数 μ)	
1	橋軸	無	-	-	・石張りのモデル化有無による挙動比較 石張り界面は圧縮剛性のみ考慮(石張りは弾性モデル) ・石張り界面のせん断抵抗の大小による挙動比較 石張り界面は圧縮剛性、せん断抵抗(クーロン摩擦モデル、 摩擦係数 $\mu=0.0\sim 0.6$)を考慮
2	橋軸	有	1	$\mu=0.0$	
3	橋軸直角	有	1	$\mu=0.0$	
4	橋軸直角	有	1	$\mu=0.3$ 3	
5	橋軸直角	有	1	$\mu=0.6$ 2	

1: 圧縮方向の剛性は相対的に剛(石張りは表-2のヤング係数を設定し弾性部材でモデル化) 2: 道示 (H29)9.5.5を参考に「岩とコンクリート」の摩擦係数を適用²⁾ 3: 検討ケースとしてcase5の半分の摩擦係数を設定

表-2 材料特性(コンクリート・石張り)

部材	ヤング係数	ポアソン比	単位体積重量	圧縮強度	引張強度	引張破壊エネルギー ¹⁾	降伏強度
	(N/mm ²)	(-)	(kN/m ³)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm)	(N/mm ²)
コンクリート	3.35E+04	0.167	23.0	33.4	3.3	0.199	-
石張り ²⁾	5.15E+04	0.220	26.5	-	-	-	-

1 引張破壊エネルギー¹⁾ $-Gf=0.0345 \cdot fc^{1/2}$ ³⁾ 2 物性値は参考文献4)を参照

表-3 解析の要素種類

部位	使用要素
コンクリート	ソリッド要素
石張り	ソリッド要素
鉄筋	埋込鉄筋要素
石張りブロック間	(面)インターフェース要素
石張り-コンクリート間	(面)インターフェース要素

キーワード: アーチ型2柱式RC橋脚, 石張り, 3次元有限要素モデル, クーロン摩擦, 地震時の耐荷性能

連絡先: 〒460-0004 愛知県名古屋市中区新栄町2-9 八千代エンジニアリング(株)名古屋支店 TEL 052-950-2616

3. 解析結果

図-3, 6 に水平荷重 P - 水平変位 関係, 表-4 に解析結果一覧を示す. 終局状態は, 躯体コンクリート要素 (case2 ~ 5 は石張り内部のコンクリート) の一部が最初に圧縮強度に達した時点と定義した.

3-1. 石張りのモデル化有無による挙動比較 (case1, 2) 荷重方向: 橋軸方向

石張りをモデル化 (石張り: 材料のヤング係数, 界面の圧縮剛性: 剛) することで, 図-4, 5 のように水平荷重に伴って生じる曲げ圧縮力を石張りが分担し, 終局時の水平荷重 P_u が約 1.13 倍, エネルギー吸収量 E (終局時までの P- δ 関係の面積) は約 1.22 倍に増加した.

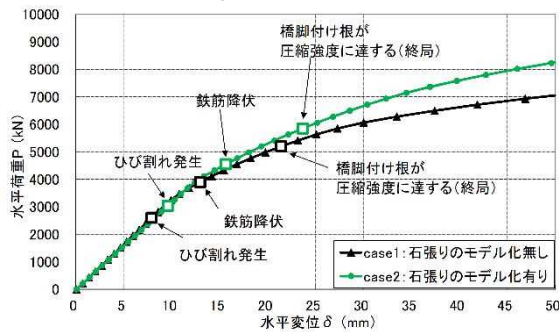


図-3 P- δ 関係 (case1,2 の比較)

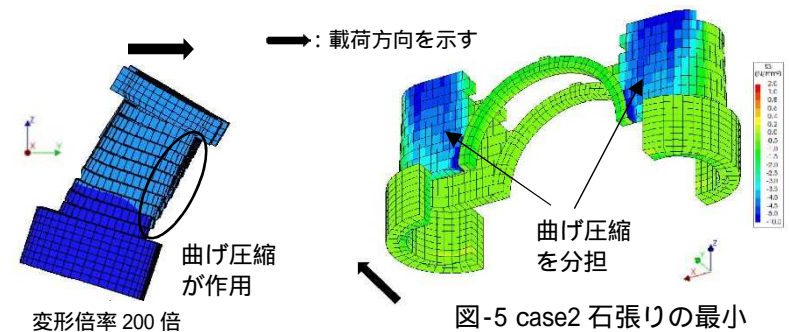


図-4 case2 変形図 (終局時)

図-5 case2 石張りの最小主応力コンター図

3-2. 石張り界面のせん断抵抗力の違いによる挙動比較 (case3,4,5) 荷重方向: 橋軸直角方向

【case3,4 の比較】石張り界面のせん断抵抗を考慮することで, 石張り界面に圧縮力が作用する範囲において石張りが有効な部材断面としてせん断変形に抵抗し (図-7), 開口部のアーチ形状を保持する効果も得られるため, 水平荷重 P_u が約 3.42 倍, エネルギー吸収量 E が約 3.56 倍と大幅に増加した. 【case4,5 の比較】case5 の摩擦係数を半分とした場合でも水平荷重 P_u , エネルギー吸収量 E の差異は約 4%と小さかった. 以上の結果より, 石張り界面のせん断抵抗を考慮することによる耐荷性能への影響は大きく, 実構造の耐荷性能をより正確に評価するための重要な因子であると考えられる. なお, せん断抵抗のモデル化, 摩擦係数の妥当性検証は今後の課題である.

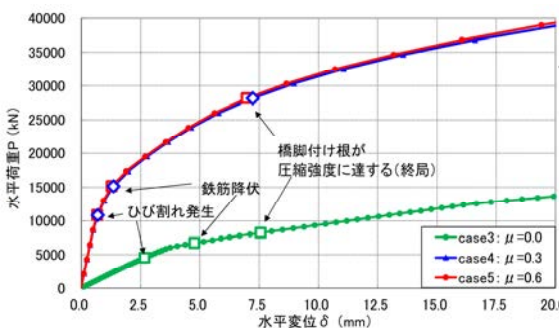


図-6 P- δ 関係 (case3~5 の比較)

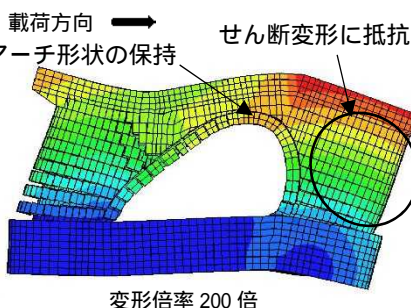


図-7 case5 変形図 (終局時)

表-4 解析結果一覧

case	終局時 水平荷重 P_u	終局時 水平変位 u	エネルギー 吸収量 E
	(kN)	(mm)	(kN·mm)
1	5,198	21.4	65,779
2	5,848	23.7	79,979
3	8,231	7.6	39,500
4	28,158	7.2	145,867
5	28,158	7.0	140,651

終局時までの P- δ 曲線の面積

4. 結言

躯体表面に石張りを有するアーチ型 2 柱式 RC 橋脚を対象とし, 石張りのモデル化有無, 石張り界面のモデル化 (せん断抵抗力の大小) に着目した耐荷性能の差異について解析的に比較検討した. 上記の結果より, 石張りのモデル化および石張り界面のせん断抵抗を考慮することで実構造が保有する耐荷性能をより正確に評価できる可能性が示唆された. 実構造の状況を踏まえて耐荷性能を評価することができれば既設構造の補強回避, 補強量の低減に寄与する. せん断抵抗を考慮することによる耐荷性能への影響が大きいため, 本研究におけるモデル化の更なる妥当性検証 (せん断抵抗モデル・摩擦係数の設定方法), 設計への適用を目的とした安全側の評価手法の提案, 他の石張りを有する類似構造への本研究成果の適用性検証が今後の課題である.

参考文献: 1) 舟山ら: 躯体表面の石張りをモデル化したアーチ型 2 柱式 RC 橋脚の耐荷性能評価, 土木学会第 76 回年次学術講演会/VI-251(2021.9), 2) (公社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 (2017.11), 3) 山谷ら: 回転ひび割れモデルによる RC 梁のせん断挙動解析, 土木学会論文集 No. 620/V-43(1999.5), 4) 児玉: 花崗岩の疲労およびクリープ特性に関する基礎的研究, 北海道大学/博士(工学) 甲第 3616 号(1995.3), 5) 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編] (2018.3)