

繰返し曲げを受ける低鉄筋比 RC 構造物の耐震性能照査基準に関する考察

(一財) 電力中央研究所 正会員 ○杉本 啓太
関西電力 (株) 正会員 松岡 賢樹

1. はじめに

ダムの付属設備である洪水吐ゲートピア（以下、ピア）は、ダム本体と同様にレベル 2 地震動に対する耐震性能を合理的に説明する必要が高まっている。ピアは設計年次が古く、丸鋼を用いられ、引張鉄筋比（以下、鉄筋比）が現行規準の 0.2% より小さい事例が多い。このため、曲げ終局状態として、コンクリート内の引張鉄筋の破断が想定されるが、具体的な照査基準は示されていない。これは、圧壊が想定される一般的な RC と終局状態が異なるためである。筆者らは低鉄筋比かつ丸鋼を用いた RC 柱の正負交番載荷実験と再現解析を実施し、内部履歴挙動や破壊形態の観点から既往モデルの適用性を検証した¹⁾。本報は、実験と再現解析を比較し、低鉄筋比 RC の鉄筋破断に対する照査基準を検討する。

2. 実験・解析概要

試験体は、柱部(高さ 1.2m)とスタブ部(高さ 0.6m)から構成される逆 T 型の RC であり、柱部では 0.5×0.5m の断面に芯かぶり 100mm の位置に片側 2 本の主筋を配置した。詳細は既報¹⁾を参照されたい。柱部の鉄筋比が約 0.13%で、主筋形状が異なる 2 ケースを対象とした(表 1)。載荷は柱部とスタブ部の境界(以下、基部)から 1m の位置を各変位で 2~3 回繰返載荷した。計測としてひ

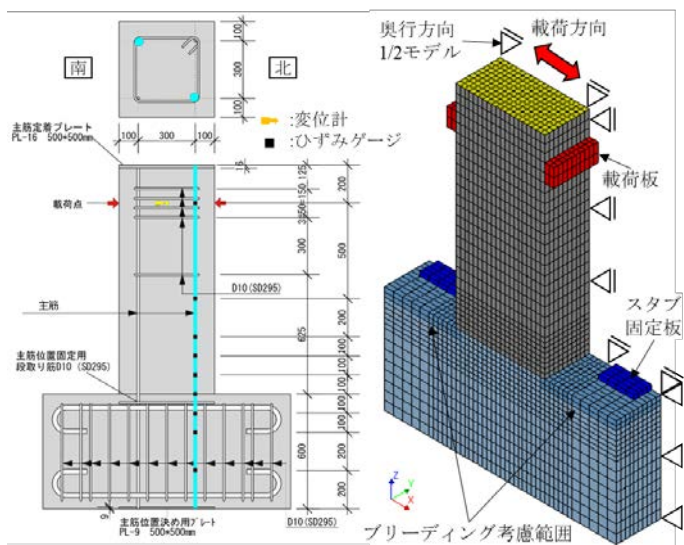


図 1 試験体概要

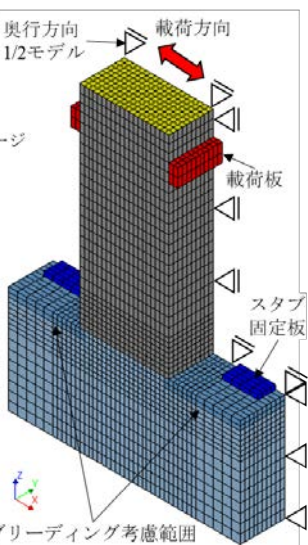


図 2 解析モデル

ずみゲージを北東と南西の主筋に設置した(図 1).

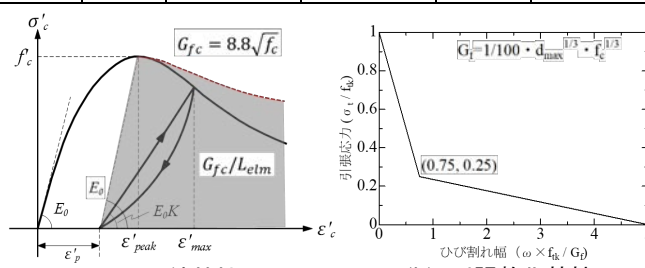
解析は汎用コード DIANA ver.10.5 を使用した。載荷は底部とスタブ固定板を固定し、載荷点に強制変位を作用させた(図 2)。コンクリートの圧縮特性は既存のモデル²⁾を使用し、要素長 L_{elm} を考慮して圧縮破壊エネルギー G_{fc} により軟化曲線を補正した(図 3)。なお、ひび割れ後の圧縮強度低減²⁾を考慮している。引張特性は一般的な引張軟化モデル²⁾とした(図 3)。ひび割れ 1 本が開口するロッキングが卓越するため、ひび割れ面でのせん断伝達は考慮していない。鉄筋は鉄筋単体の応力ひずみ曲線²⁾を採用した。コンクリートと鉄筋間の付着すべりモデルは既報¹⁾と同様とし、考慮の有無による影響を比較した(表 1)。スタブ上面の隅角部はブリーディングによる強度低下が懸念され、既報¹⁾を参考にスタブ上面 1 要素とその周辺 1 要素の引張強度を 50 % 低減した。

3. 実験結果と再現解析の比較

図 4 に荷重変位関係を示す。全ケースにおいて解析は実験に比べてひび割れ耐力が高い。これは乾燥収縮等の影響が考えられ、コンクリートの引張強度を 50% 低減した解析により再現性が向上することを確認している¹⁾。全ケースにおいて解析では $\delta = \pm 72\text{mm}$ 以降は圧壊による耐力低下が生じた。これは本検討では水平ひび割れが卓越するのに対し、応力方向に平行なひび割

表 1 実験および解析ケース

実験 Case	主筋 形状	圧縮強度 [N/mm ²]	弾性係数 [kN/mm ²]	解析 Case	付着すべり モデル
RG-D13	異形鉄筋	30.97	29.01	D13-s	異形鉄筋
				D13-f	完全付着
RG-R13	丸鋼	32.06	30.78	R13-s	丸鋼
				R13-f	完全付着



(a) 圧縮特性 (b) 引張軟化特性

図3 解析で用いたコンクリートの材料モデル

キーワード：ダムピア，低鉄筋比，付着すべり，鉄筋破断，耐震性能照査，丸鋼

連絡先：〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL 070-5587-8032

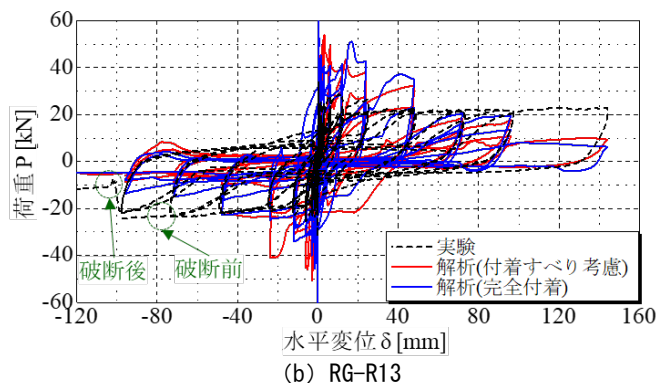
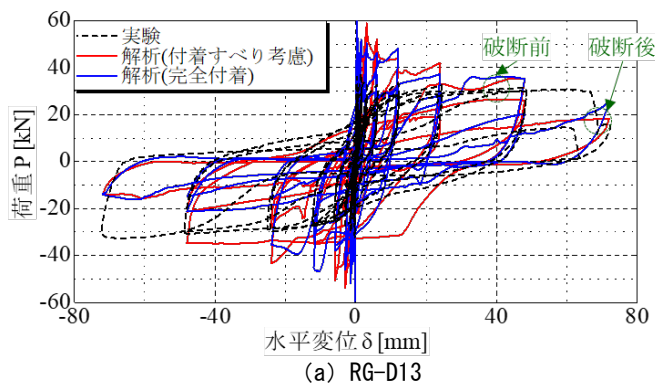


図4 実験と再現解析の荷重と水平変位の関係

れを対象とした圧縮強度低減が過大に作用したためと推察される。概ね再現可能な範囲である $\delta = \pm 24\text{mm}$ は変形角約 1/40 であり、ピアと洪水吐ゲートとの接触が想定される変形角 1/500¹⁾を十分に包含している。

実験では全ケースで基部から約 50mm 下に発生した 1 本のひび割れが卓越した。解析では、全ケースで基部より下 2 要素 (要素長 25mm) にひび割れが進展しており (図 5, 6), ひび割れ発生位置を再現した。

図 7 に実験における鉄筋破断前後のひずみ分布を示す。破断位置に最も近い計測可能箇所において、破断前後に少なくとも D13 で約 29800 μ , R13 で約 38100 μ のひずみが観測された。ここで、30000 μ の主筋の最大ひずみが発生する前後の水平変位 12, 24mm における実験と解析のひずみ分布を比較する (図 7)。D13 では付着すべりの考慮に関わらず、R13 では付着すべりを考慮した解析で、ひずみの最大値や発生範囲を概ね再現した。一方、R13 で完全付着とした解析は最大ひずみを過大評価し、発生範囲を小さく評価した。

4. 鉄筋破断に対する照査基準に関する検討

実験では主筋形状に関わらず、鉄筋破断前後に約 30000 μ 以上の鉄筋ひずみを観測した。破断位置では局所化が生じ、より大きいひずみが発生したと推察される。鉄筋比約 0.13% である本検討の範囲内で、鉄筋ひずみ 30000 μ が確認されてもコンクリート内で鉄筋破断が生じないことを実験的に確認した。また、観測点は破断位置ではなく、局所化が生じない範囲と推察され、付近の平均的なひずみとして評価でき、解析と比較できると考えられる。鉄筋比約 0.13% の RC を対象に、付着すべりを考慮した解析は、主筋形状に関わらず最大鉄筋ひずみ約 30000 μ 以内の範囲でひずみ分布を再現可能である。一方で、丸鋼を対象に、完全付着とした解析は、同範囲のひずみ分布を過大評価したが、照査では鉄筋ひずみの応答値を安全側に評価する。

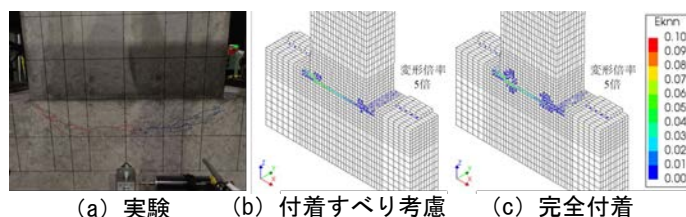


図5 RG-D13の実験および解析のひび割れ状況 (δ=+3mm)

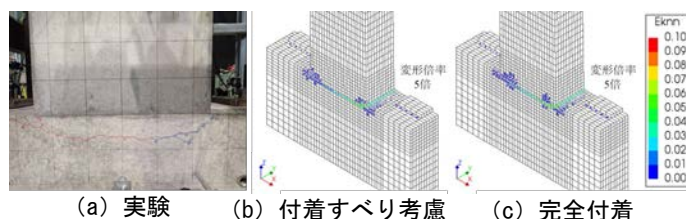


図6 RG-R13の実験および解析のひび割れ状況 (δ=-3mm)

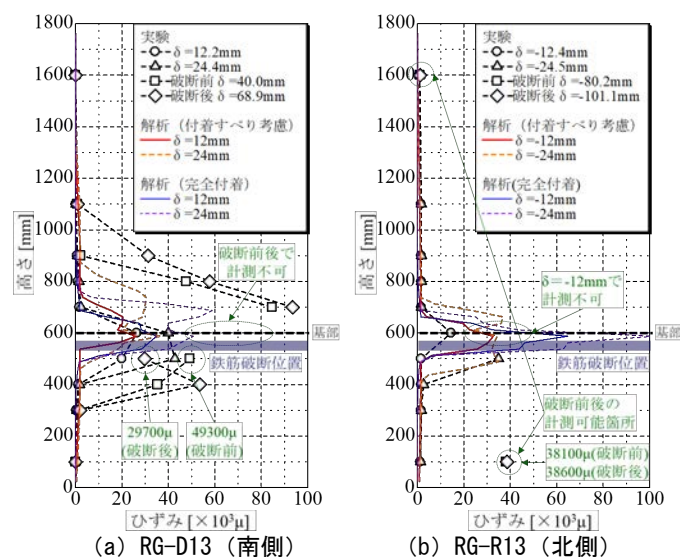


図7 各変位時の主筋の鉄筋ひずみの高さ方向分布

5. まとめ

低鉄筋比 RC の曲げ終局状態として、引張鉄筋の破断を想定した照査基準を対象に、実験と再現解析の両面から、鉄筋破断を安全側に考慮可能な指標に関する基礎的なデータを取得した。

参考文献

- 1) 松岡ら: 丸鋼を用いた超低鉄筋比 RC 構造物の繰返し挙動の把握および付着すべりモデルの適用性検証, 構造工学論文集, Vol. 69A, 2023.3
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書設計編, 2017