

凍結融解作用を受けた RC 橋脚の曲げ耐力と変形性能に関する解析的研究

東北大学大学院 正会員 ○内藤 英樹 ハザマ技術研究所 正会員 村上 祐治
 国土交通省東北地方整備局 正会員 金内 剛 東北大学大学院 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

コンクリートの凍害に関する研究は、凍結融解作用を受けたコンクリートの質量や動弾性係数の低下に着目したものが多く、凍害による RC 構造物の耐力や変形性能の低下を検討した例は少ない。正負交番荷重を受ける RC 柱では、かぶりコンクリートの剥落（以下、かぶり剥落）と同時に軸方向鉄筋の座屈により大幅に耐力が低下するため、RC 橋脚の耐震設計では、かぶり剥落を修復限界（復旧性の観点から定まる限界状態）および終局限界と考えることができる。そこで、本研究では、かぶり剥落に着目した参考文献¹⁾の手法を用いて、凍結融解作用によるコンクリートの劣化が RC 橋脚の曲げ耐力や変形性能に及ぼす影響を検討する。

2. 解析モデルの概要

RC 橋脚においては、かぶり剥落と軸方向鉄筋の座屈は同時に生じるものと考え、参考文献¹⁾では、図-1のモデル化によって軸方向鉄筋の座屈発生点を予測した。軸方向鉄筋の座屈は帯鉄筋間隔の整数倍で生じるものとし、その両端は固定とした。軸方向鉄筋の座屈発生時ひずみの算定式では、帯鉄筋とかぶりコンクリートによる拘束力を集中荷重 Q_w と等分布荷重 q_c として考慮した。

$$Q_w = a_{we} \sigma_{wy} / N \quad (1)$$

$$q_c = k \beta d_1 D \sigma_t \quad (2)$$

ここで、 a_{we} は帯鉄筋の有効断面積¹⁾、 σ_{wy} は帯鉄筋の降伏強度、 N は一辺における軸方向鉄筋の本数、 σ_t はかぶりコンクリートの引張強度、 k は引張強度 σ_t から q_c を算定するための定数、 β はかぶりコンクリートが圧縮を受けた際の引張強度 σ_t の低減係数、 d_1 はかぶり、 D は軸方向鉄筋の径である。

図-1の座屈モデルを用いた RC 柱のかぶり剥落時変位の計算方法は参考文献¹⁾に示した。また、曲げ耐力（最大水平荷重）は、ファイバー要素に分割した RC 断面の釣合い計算によって算定する。なお、本研究では、凍害を受けた場合にも RC 橋脚は曲げ破壊を呈すると仮定し、せん断の照査は行わない。

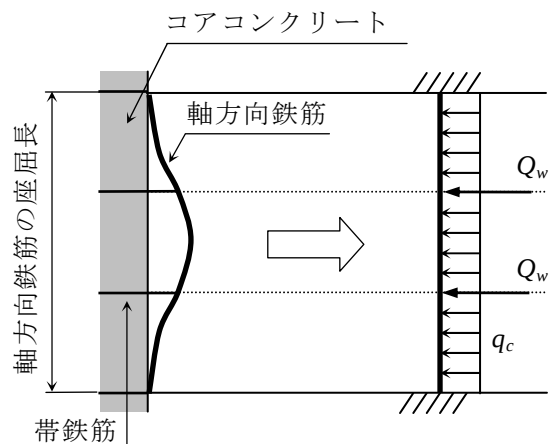


図-1 軸方向鉄筋の座屈モデル¹⁾

3. 凍結融解作用を受けた RC 橋脚の曲げ耐力および変形性能

(1) 凍結融解作用によるコンクリートの劣化度の設定

参考文献²⁾に示される単柱式 RC 橋脚を解析対象とする。橋脚の諸元を表-1に示す。建設時のコンクリートの圧縮強度は 21 N/mm^2 、鉄筋の降伏強度は 295 N/mm^2 とした²⁾。経年劣化した橋脚内部のコンクリートの強度分布や弾性係数の分布は、周辺環境、気象条件、コンクリートの配合、供用年数などによって大きく異なる。本研究では、凍結融解作用によるコンクリート表面からの劣化の深さや強度低下を検討した既往の研究³⁾⁻⁵⁾を参考にして、かぶりコンクリート部分のみ、圧縮強度と引張強度および弾性係数をいずれも 100 % (劣化なし)、75 %、50 %、25 % とした解析を行った。なお、軸方向鉄筋、帯鉄筋およびコアコンクリートの劣化は考慮せず、鉄筋とコンクリートの付着劣化も無視した。

Key Words : 凍結融解作用, RC 橋脚, かぶりコンクリートの剥落, 耐震性能

連絡先: 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL: 022 (795) 7449 FAX: 022 (795) 7448

表-1 橋脚諸元の一覧

橋脚高さ (mm)	断面寸法 幅×高さ (mm)	軸方向 鉄筋比 (%)	帯鉄筋の 体積比 (%)	帯鉄筋間隔 (mm)	かぶり (mm)	軸力 (N/mm ²)
10,000	5,000×2,200	1.31	0.53	150	120	0.72

※ 軸方向鉄筋は二段鉄筋 (D32) であり，帯鉄筋は D16 を使用する。

(2) RC 橋脚の曲げ耐力および変形性能

参考文献¹⁾の手法を用いて，表-1のRC橋脚の降伏点とかぶり剥落点を算定した．解析結果を図-2に示す．かぶりコンクリートの圧縮強度と弾性係数を低下させた場合でも，RC橋脚の曲げ耐力や降伏点までの剛性に大きな変化はなかった．一方，橋脚の変形性能については，コンクリートの劣化に伴ってかぶり剥落時変位が小さくなることが示された．これは，図-1のモデルが式(2)においてコンクリートの引張強度 σ_t をパラメータに含むためである．引張強度 σ_t の値に対して，かぶりコンクリートが軸方向鉄筋の座屈を抑制する効果を表-2に示す．劣化を考慮しない場合では，かぶりコンクリートは帯鉄筋の2.27倍の座屈拘束効果を有している．しかし，かぶりコンクリートの引張強度の低下に伴って座屈抑制効果は小さくなり，結果として，図-2のRC橋脚の変形性能が大きく低下した．なお，表-2の解析結果では，コンクリートの引張強度の低下によりかぶりコンクリートの剥落範囲が大きくなることが示された．しかし，解析では帯鉄筋の劣化を考慮していないため，帯鉄筋の座屈抑制効果によってかぶり剥落長の上限は750mmとなった．

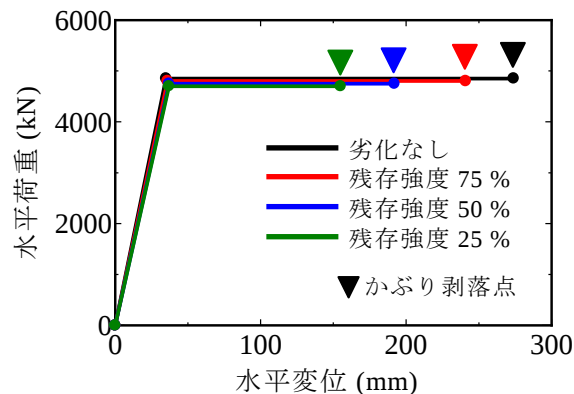


図-2 かぶりコンクリートの残存強度と橋脚の耐震性能

表-2 かぶりコンクリートによる軸方向鉄筋の座屈抑制効果

残存強度率	$R_c / R_w^{1)}$	かぶりの剥落長 (mm)
劣化なし	2.27	450
75 %	1.58	750
50 %	1.05	750
25 %	0.57	750

R_c : かぶりコンクリートによる座屈抑制効果
 R_w : 帯鉄筋による座屈抑制効果

4. まとめ

凍結融解作用によるコンクリートの劣化がRC橋脚の曲げ耐力や変形性能に及ぼす影響を解析的に検討した．その結果，1) かぶりコンクリートの圧縮強度や弾性係数の低下は，橋脚の曲げ耐力や初期剛性にはほとんど影響しない，2) 引張強度の低下によって橋脚の変形性能 (かぶり剥落時変位) は大きく低下する，との知見が得られた．なお，本研究は，1つの橋脚諸元に対して，かぶりコンクリート部分のみ，その強度や弾性係数を簡易的に仮定したものである．今後は，超音波測定などを用いた現場計測によるRC橋脚の劣化度調査を行い，解析モデルの高精度化を検討する予定である．

参考文献

- 1) 秋山充良，内藤英樹，鈴木基行：軸方向鉄筋の座屈発生点に対応した終局曲率の簡易算定法およびRC柱とSRC柱の靱性能評価への適用，土木学会論文集，No.725/V-58，pp.113-129，2003.
- 2) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，1997.
- 3) 三浦尚，岩城一郎，板橋洋房：針貫入試験によるコンクリート構造物の劣化診断に関する研究，土木学会論文集，No.620/V-43，pp.245-255，1999.
- 4) 小谷拓，藤原鉄朗，吉田典明：凍害を受けたコンクリート構造物の劣化深度調査と補修工設計，土木学会第59回年次学術講演会，5-130，pp.257-258，2004.
- 5) Hasan, M., Okuyama, H. and Ueda, T.: The damage mechanism and strain induced in frost cycles of concrete, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol.25, No.1, pp.401-406, 2003.