

凍害を受けた RC はりのせん断破壊に対する安全性評価

東北大学 正会員 ○内藤英樹
東北大学 フェロー 鈴木基行

1. はじめに

RC 構造物の性能照査型設計では、供用期間にわたる様々な外力に対して、使用性、安全性、復旧性が確保されることを照査している¹⁾。しかし、経年劣化した既設構造物に対して、点検データに基づいて構造性能評価や性能照査が行われることは現状ではまだ少ない。性能設計の観点では、既設構造物に対しても、構造性能を明らかにした上で各種性能照査を行い、その照査結果に基づいて対策を講じることが理想である。そのためには、各種劣化要因に対する構造物の点検技術および構造性能評価手法の高度化と、これらを組み合わせた性能照査手法の体系化が必要である。著者ら²⁾は、これまでに凍害劣化した RC 構造物を対象として、非破壊試験による相対動弾性係数の評価や、せん断耐力算定式を検討してきた。本研究では、これらの点検・評価に係るばらつきを明らかにし、信頼性評価によって、凍害を受けた RC はりのせん断破壊に対する破壊確率を試算する。そして、この試算結果を参照して、RC 構造物の凍害程度と安全性の関係を考察する。

2. 凍害劣化を考慮したせん断耐力の算定

著者ら²⁾は、寸法 $130 \times 220 \times 700$ (mm) の RC はり供試体に凍結融解作用を与えて、相対動弾性係数とせん断耐力との関係を整理し、相対動弾性係数を指標としたせん断耐力算定式を提示した。

$$V_u = V_c + V_s \quad (1)$$

$$V_c = k f_v \beta_d \beta_p b d \quad (2)$$

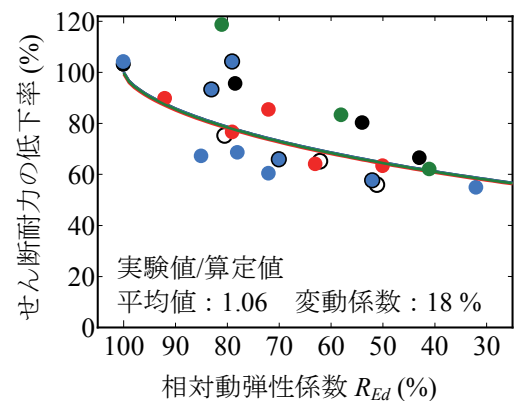
$$f_c = \left(\frac{f_t}{0.23} \right)^{1.5} \quad (3)$$

$$f_t = f_{t0} \times \exp \left\{ -0.069 (100 - R_{Ed})^{0.649} \right\} \quad (4)$$

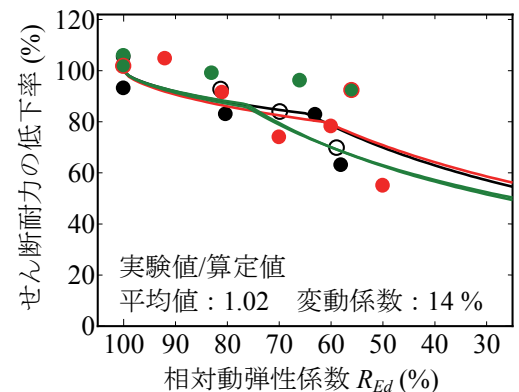
$$V_s = A_w f_{wy} (\sin \alpha + \cos \alpha) \frac{z}{s} \quad (5)$$

ここで、 V_u はせん断耐力、 V_c は腹鉄筋のないコンクリート棒部材のせん断耐力、 V_s は腹鉄筋の負担せん断耐力、 d は部材の有効高さ、 b は断面幅、 k 、 f_v 、 β_d 、 β_p はそれぞれせん断スパン比、コンクリート強度、有効高さ、鉄筋比の影響を考慮するパラメータである¹⁾。 f_c は引張強度から換算したコンクリートの圧縮強度、 f_t は凍害による材料劣化を考慮したコンクリートの引張強度、 f_{t0} は健全状態での引張強度、 α は腹鉄筋と部材軸のなす角度、 s は腹鉄筋の配置間隔、 A_w は区間 s の腹鉄筋の総断面積、 z は圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で、一般に $z = d / 1.15$ としてよい。 f_{wy} は腹鉄筋の降伏強度であり、上限 $25f_c$ を設けた¹⁾。

図-1 に示すように、せん断耐力算定式は実験結果²⁾と良好に対応しており、腹鉄筋の有無に依らず、同程度の変動係数となった。以上より、凍害によるコンクリート引張強度の低下を考慮して、RC 部材のせん断耐力を算定することができる。



(a) 腹鉄筋のない供試体



(b) 腹鉄筋のある供試体

図-1 せん断耐力算定式の精度²⁾

キーワード：RC はり，凍害，せん断破壊，破壊確率

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

3. 凍害を受けた RC はりの破壊確率の試算

許容応力度法によって設計計算された図-2 の RC はり³⁾が凍害を受けた場合を考える。ここでは、共鳴振動法⁴⁾によって図-3 の点検結果が得られたと仮定する。健全に対する共振周波数比を2乗して、各測定点の相対動弾性係数 R_{Ed} が評価できる。

評価のばらつきは、図-1 (a),(b) のデータを合わせて、(実験値)/(算定値)の平均値と変動係数が1.04と17%になる。点検については、参考文献4)より平均値1.00と変動係数6.8%を与えた。試行回数 10^6 回のモンテカルロシミュレーションでは、試行回ごとに共鳴振動法(点検)とせん断耐力算定式(評価)のばらつきを正規乱数によって与え、せん断耐力の算定値が作用せん断力(300 kN)を下回る回数をカウントし、 10^6 で除すことにより破壊確率を求めた。凍害程度と安全性(破壊確率)の関係を表-1に整理した。図-3 には、共振周波数比の測定箇所ごとに破壊確率を図中に併記した。構造物としては、600 kN の荷重に対して、0.0028 の破壊確率で左側端部がせん断破壊することを示している。

表-1 の試算結果に限れば、共振周波数比 0.9~1.0 の範囲では破壊確率に大きな増加はなかった。一方、図-4 に示すように、相対動弾性係数が70%(共振周波数比 0.85)を下回るほど劣化が進展すると、破壊確率が急激に増加することが示された。計算では、式(5)の腹鉄筋の降伏強度に $25f_c$ の上限を設けており、凍結融解によるコンクリート強度 f_c と腹鉄筋の負担せん断耐力 V_s の低下が、破壊確率を増加させる要因であった。なお、コンクリート標準示方書¹⁾では、凍害に対する耐久性の観点から、相対動弾性係数70%を最低値としている。図-4 より、これは安全性が大きく低下する前段階であることが確認できた。

以上のように、点検と評価のばらつきを明らかにすれば、信頼性評価によって、既設構造物の安全性を定量的に示すことができる。構造物に許容できる破壊確率が定まれば、現行の性能照査型設計の手順に従って、既設構造物の安全性照査が可能になる。

4. まとめ

凍害を受けた RC 構造物を例として、点検と評価のばらつきを考慮した破壊確率の試算例を示した。点検に基づく破壊確率は、老朽化した構造物の品質・性能を数値化するものであり、構造的な性能や安全性の観点から合理的な対策に繋がることを期待される。

参考文献：1) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編，2012. 2) 土屋祐貴ほか：凍結融解によって劣化した RC はりのせん断耐力，構造工学論文集，Vol. 60A，pp. 751-760，2014.3 3) 伊藤実，小笠修広，佐藤啓治：絵とき 鉄筋コンクリートの設計，オーム社，1988. 4) 土木学会：材料劣化が生じるコンクリート構造物の維持管理優先度研究小委員会 委員会報告書，コンクリート技術シリーズ，110，2014.

スパン: 5 m
有効高さ: 1000 mm
せん断スパン比: 2.5
断面幅: 300 mm
引張鉄筋: 10-D25
スターラップ: D13@200
コンクリート圧縮強度: 30 N/mm²
引張強度: 3 N/mm²
鉄筋の降伏強度: 400 N/mm²

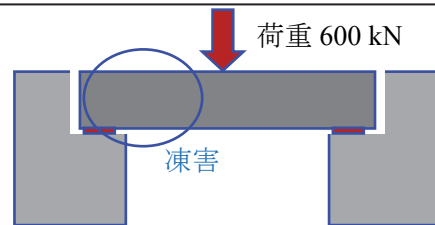


図-2 RC はりの諸元

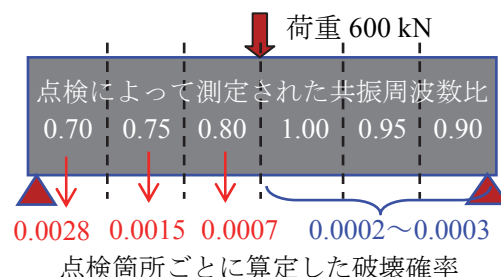


図-3 共振周波数比の点検データ

表-1 破壊確率の試算結果

共振周波数比	相対動弾性係数 (%)	V_u の平均値 (kN)	破壊確率 ($\times 10^{-4}$)
1.00	100	786	1.6
0.95	90	764	1.9
0.90	81	740	2.8
0.85	72	715	4.6
0.80	64	685	7.2
0.75	56	640	14.5
0.70	49	588	28.3

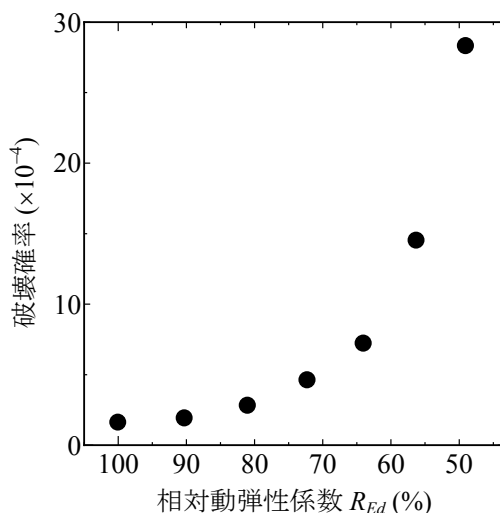


図-4 相対動弾性係数と破壊確率