

塩害環境下にある RC 橋脚の耐震安全性を考慮した鉄筋腐食の限界状態設定に関する研究

東京工業大学 正会員 ○松崎 裕
鹿島建設(株) 正会員 佐藤広和

東北大学 正会員 秋山充良
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

著者らは、鉄筋腐食が生じた RC 橋脚の構造性能を評価できる耐震解析モデルを構築するとともに、その解析モデルに基づいて既往の実験結果との比較から鉄筋腐食が生じた RC 橋脚の構造性能評価に介在する不確定性を整理し、健全時と同等の耐震安全性を確保する上で許容される鉄筋腐食の限界状態に関する検討を行った¹⁾。その結果、腐食ひび割れ発生までの鉄筋腐食程度であれば、耐震性能の観点でも、所要の構造性能が確保されていることが定量的に示された^{1),2)}。本稿では、参考文献 1)とは異なる解析条件で、鉄筋の質量減少率と RC 橋脚の耐震安全性の関係を再検証するとともに、各鉄筋腐食程度を限界状態とした場合の耐久設計に用いる部分係数および設計かぶりの大きさの観点から、塩害環境下にある RC 橋脚の耐震安全性を確保する上で合理的な鉄筋腐食の限界状態を選定する。

2. 鉄筋腐食が RC 橋脚の耐震安全性に及ぼす影響

2.1 概説

参考文献 1)では、地震動強度 α に対して、地震動評価に係る不確定性を表す地震ハザード曲線 $p_0(\alpha)$ と、構造物の応答および構造性能の評価に係る不確定性を表す fragility 曲線 $Fr(\alpha)$ を用いて、式(1)で算定される信頼性指標 β に基づき、耐震安全性を定量的に評価した。その際には、II 種地盤³⁾上に建設された固有周期の異なる RC 橋脚群を対象として、鉄筋の質量減少率と耐震安全性の関係を明らかにした。ここでは、地震動特性の異なる I 種地盤上に建設された RC 橋脚群を対象として、参考文献 1)と同様に、鉄筋腐食発生点、腐食ひび割れ発生点、質量減少率 5%点、質量減少率 20%点の各鉄筋質量減少率での耐震安全性を評価する。

$$\beta = -\Phi^{-1}(pf) \quad (1)$$

$$pf = \int_0^{\infty} \left(-\frac{dp_0}{d\alpha} \right) Fr(\alpha) d\alpha \quad (2)$$

ここに、 Φ は標準正規分布の累積分布関数である。

2.2 解析対象 RC 橋脚および解析条件

解析対象 RC 橋脚の諸元一覧を表-1 に示す。いずれも、I 種地盤上を想定して、道路橋示方書³⁾に基づいて耐震設計した。なお、参考文献 1)では、地震動を澤田ら⁴⁾の手法に基づいて工学的基盤で規定したが、ここでは I 種地盤を想定していることから、地表面を工学的基盤と同等と見なした。また、いずれの橋脚も、仙台市に建設されることを想定し、J-SHIS⁵⁾において公開されている仙台市の工学的基盤における評価期間 50 年間、平均ケースの地震ハザード曲線を用いた。

2.3 フラジリティ曲線

P1 橋脚を例にとり、鉄筋腐食の各限界状態において終局変位を超過する最大応答変位が生じる条件付確率として算定した fragility 曲線を図-1 に示す。同一の最大速度における条件付損傷確率の値に着目すると、鉄筋腐食発生点と腐食ひび割れ発生点とでは、ほとんど相

表-1 解析対象 RC 橋脚の諸元一覧

橋脚 番号	B (m)	H (m)	a (m)	SDI	SDw	p (%)	ρ_{sl} (%)	T_l (秒)
P1	5.00	1.60	7.0	D32	D22	1.85	1.03	0.40
P2	5.00	2.00	10.0	D35	D22	1.91	1.03	0.50
P3	5.00	3.50	16.2	D32	D22	0.92	1.03	0.60
P4	5.50	3.25	17.4	D35	D19	1.37	0.76	0.67
P5	7.50	2.50	17.3	D35	D19	1.51	0.76	0.82

B : 橋脚の断面幅 H : 橋脚の断面高さ
a : 橋脚の高さ SDI : 軸方向鉄筋の呼び名
SDw : 帯鉄筋の呼び名 p : 軸方向鉄筋比
 ρ_{sl} : 横拘束筋体積比 T_l : 固有周期(橋軸方向)

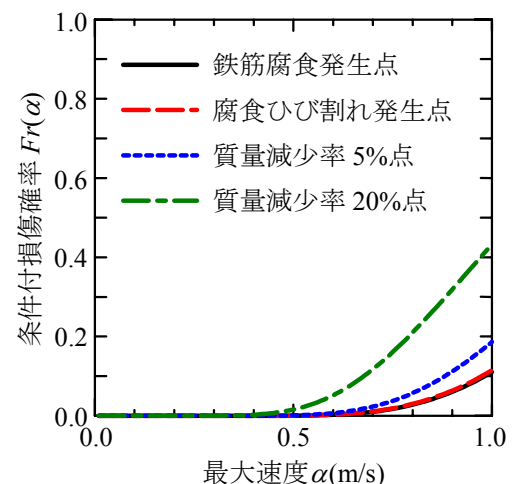


図-1 フラジリティ曲線(P1 橋脚)

キーワード：塩害、鉄筋腐食、限界状態、RC 橋脚、耐震信頼性評価、耐久信頼性設計

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-M1-10 TEL：03(5734)2922 FAX：03(5734)3810

違が認められないが、質量減少率 5%点、質量減少率 20%点と鉄筋腐食が進展するに伴い、有意に条件付損傷確率の値が増加している。

2.4 鉄筋の質量減少率と RC 橋脚の耐震安全性の関係

図-1 に示したフラジリティ曲線を各橋脚、鉄筋腐食の各限界状態に対して算定し、式(1)により求められる信頼性指標 β と鉄筋の質量減少率の関係として表したものを図-2 に示す。質量減少率 5%点以降の鉄筋腐食程度を許容した場合には、耐震安全性が有意に低下するが、鉄筋腐食発生点と腐食ひび割れ発生点に対応する耐震安全性はほとんど変わらない。従って、設計耐用期間内に生じる腐食を腐食ひび割れ発生点に対応する腐食程度までに抑えることが必要である。

3. 鉄筋腐食の限界状態と必要なかぶりの大きさの関係

3.1 概説

設計耐用期間内に生じる鉄筋腐食を許容する程、必要なかぶりの大きさは低減するが、鉄筋腐食進展の評価に介入する不確定性¹⁾を踏まえて、各限界状態を超過する腐食が生じる確率が同等となる設計かぶりの大きさの観点から、合理的な鉄筋腐食の限界状態を定める。

3.2 設計規準式と部分係数

部分係数 γ を介して、設計耐用期間 T_d と鉄筋腐食発生までの時間

T_{co} を比較する式(3)の設計規準式に基づき、耐久設計を行う。部分係数 γ は、参考文献 1) の手法により算定される全国 38 地点の塩害環境⁶⁾での信頼性指標 β と目標信頼性指標 β_T に対して、式(4)を満足するように探索する。

$$\gamma \frac{T_d}{T_{co}} \leq 1 \quad (3)$$

$$W = \sum (\beta - \beta_T)^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

3.3 必要なかぶりの大きさの観点から定めた合理的な鉄筋腐食の限界状態

$\beta_T=2.0$ の場合の各限界状態に対応する部分係数 γ を表-2 に示し、設計耐用期間 50 年、 $W/C=45\%$ 、軸方向鉄筋 D32、海岸線からの距離 0.1km の条件で、各限界状態に対応する設計かぶりを求めた結果を図-3 に示す。質量減少率 5% 点に対応する腐食を許容しても、腐食ひび割れ発生点の場合に比べて必要なかぶりの大きさを有意には低減できず、腐食ひび割れ発生点を限界状態とすれば、所要の耐震安全性を確保した上で合理的なかぶりの大きさを与えられる。

4. まとめ

塩害環境下にある RC 橋脚の耐震安全性および鉄筋腐食進展の評価に介入する各種不確定性を踏まえた上で、腐食ひび割れ発生点を限界状態とすれば、合理的なかぶりの大きさで所要の耐震安全性が確保できることを示した。

謝辞 本研究の一部は、平成 18 年度吉田研究奨励賞の支援を受けて実施したものであります。ここに記して、関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 秋山充良ほか：塩害環境下にある RC 橋脚の耐震安全性確保の観点から定めた限界鉄筋腐食量とその耐久設計法に関する確率論的考察，土木学会論文集 E，Vol.64，No.4，pp.541-559，2008。
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]，2008。
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2002。
- 4) 澤田勉ほか：最大地動の距離減衰式に基づく工学的基盤地震動のシミュレーション手法，土木学会論文集，No.682/I-56，pp.311-322，2001。
- 5) 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション J-SHIS，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 6) 秋山充良ほか：塩害環境下における鉄筋コンクリート構造物の耐久信頼性設計に関する基礎的研究，土木学会論文集 E，Vol.62，No.2，pp.385-401，2006。

○鉄筋腐食発生点 △腐食ひび割れ発生点
□質量減少率 5%点 ◇質量減少率 20%点

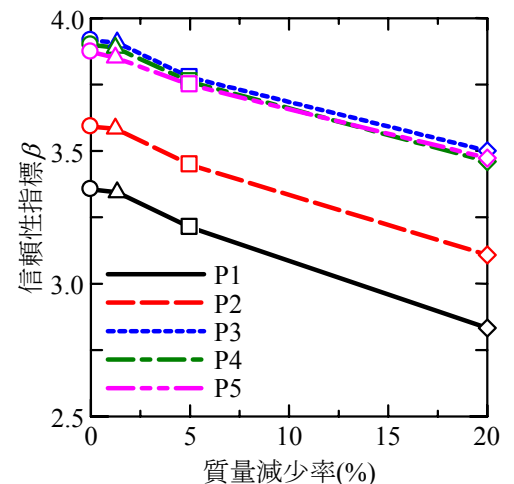


図-2 質量減少率と信頼性指標 β の関係

表-2 各限界状態に対応した部分係数 γ

	鉄筋腐食発生点	腐食ひび割れ発生点	質量減少率 5%点	質量減少率 20%点
γ	4.7	2.6	2.3	1.4

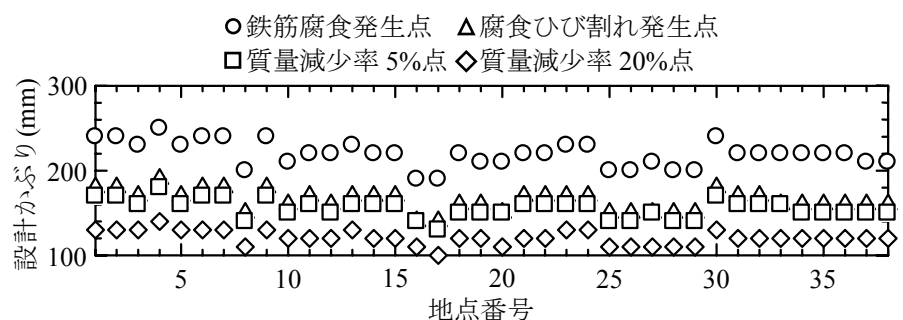


図-3 各限界状態に対応した設計かぶり