

高耐食性鉄筋を埋設した RC 栈橋上部工の 200 年間に亘る LCC の試算と比較

金沢工業大学 学生会員 ○松田 和樹

金沢工業大学 正会員 宮里 心一

1. はじめに

近年、ライフサイクルコスト（以下 LCC と略す）を考慮して構造物を設計する事例が増えている。その際、設計供用期間は重要な要素である。ここで、コンクリート標準示方書では設計供用期間を一般に 50 年から 100 年と設定している¹⁾。さらに長期に亘り土木構造物を供用するには、高耐食性鉄筋の使用が適する場合がある。また今年度、新たに亜鉛めっき鉄筋の設計施工指針（案）が土木学会より刊行される予定である。しかしながら、LCC を 200 年で試算したケースや、亜鉛めっき鉄筋を用いた RC 構造物の LCC を試算した事例は少ない。

よって、本研究では、設計供用期間を 200 年と想定し、沖縄県・石川県・東京都に立地する RC 栈橋上部工を対象に 3 種の高耐食性鉄筋を用いた場合における LCC を試算した。なお、高耐食性鉄筋として、エポキシ樹脂塗装鉄筋（以下エポ筋と略す）、ステンレス鉄筋および亜鉛めっき鉄筋を対象とした。

2. 試算手順

試算条件を表-1 に示す。フィックの拡散則を用いてコンクリート内での Cl の浸透を予測し、次式により腐食予測を行った²⁾。

$$V = (1 + 0.0381(t - 20)) * 1.32(Cl - 2.0) \text{ 式(1)}$$

V: 気温補正後の腐食速度(mg/cm²/year)

t: 気温(°C)

さらに、次式により降伏荷重比を算出した。

$$\text{降伏荷重比} = 1.0 - \text{腐食減少率} * 0.01 \text{ 式(2)}$$

なお、亜鉛めっき鉄筋においては、亜鉛めっきの消耗量を次式にて計算した。

$$W_d = \gamma_{cd} \int_0^T \alpha_d * \beta_d * g(Cl) dt \text{ 式(3)}$$

W_d: 亜鉛めっきの消耗膜厚(μm)

γ_{cd}: 計算の不確実性を考慮した係数

α_d: pH が消耗速度に及ぼす影響を示す係数

Cl: 鋼材位置の塩化物イオン濃度(kg/m³)

β_d: 含水状態が消耗速度に影響を示す係数

g(Cl): 塩化物イオンが消耗速度に及ぼす影響

$$0.0 < Cl \leq 3.3 \text{ の時 } g(Cl) = 0.3 * C_{cl} + 1.0$$

$$3.3 < Cl \text{ の時 } g(Cl) = 2.0$$

表-1 試算条件

項目		値	参考
W/C (%)		50	3)
かぶり (cm)		7.0	
表面 Cl-量 (kg/m ³)		13.0	1)
平均気温 (°C)	東京都	15.4	4)
	石川県	14.6	
	沖縄県	23.1	
使用鉄筋	普通鉄筋	SD345	3)
	エポ筋	被覆厚 220μm	
	ステンレス鉄筋	SUS304	
	亜鉛めっき鉄筋	めっき厚 75μm	
腐食速度	進展期	式 (1)	2)
	加速期	進展期の 7 倍	
	電気防食工	通常の 1/10	
ひび割れ発生腐食減量 (mg/cm ²)		10	5)
降伏荷重比		式 (2)	
表面被覆材の厚さ (mm)		1.0	
表面被覆材拡散係数 (cm ² /年)		0.002	
エポキシ樹脂塗装膜内での Cl-の拡散係数 (cm ² /年)		0.000002	3)

表-2 補修費用

工法	費用 (円/m ²)	維持管理費用 (円/m ² /年)	参考
表面被覆工	12,200	0	企業へのヒヤリングにて確認
塗装撤去工	3,000		
仮設工	5,500		
電気防食工	65,000	600	
配線取替	16,250	0	3)
更新 (撤去費)	207,000		

補修費用を表-2 に、試算ケースを表-3 に示す。本試算では、降伏荷重比が 90%を下回った時点で更新を行う。また表面被覆工は、20 年ごとに塗替えを行う。さらに電気防食工は、20 年ごとに配線取替、40 年ごとに更新を行うとした。

表-3 試算ケース

ケース	条件	詳細
1	普通鉄筋 +表面保護工 +電気防食工	新設時に表面保護工+ 加速期に電気防食+ 降伏荷重比 90%以下で更新 (繰り返し)
2	エポ筋 +表面保護工	新設時に表面保護工+ 降伏荷重比 90%以下で 更新 (繰り返し)
3	エポ筋 (無対策)	無補修+降伏荷重比 90%以下で更新 (繰り返し)
4	ステンレス鉄筋 (無対策)	無補修
5	亜鉛めっき鉄筋 +表面保護工	新設時に表面保護工+ 降伏荷重比 90%以下で 更新 (繰り返し)
6	亜鉛めっき鉄筋 (無対策)	無補修+降伏荷重比 90%以下 で更新 (繰り返し)

3. 試算結果

RC 栈橋上部工の 200 年間に亘る石川県での試算結果を図-1 に示す。200 年で試算した場合、エポ筋を使用したケース 2・3 においても更新の必要が生じる。一方、ステンレス鉄筋を使用したケース 4 では更新が不要で、最も LCC が小さくなることを確認できた。なお、本試算において最も LCC が大きくなったケースは亜鉛めっき鉄筋を使用したケース 6 になることを確認できた。次に、地域別に LCC が最も小さくなるケースの期間を図-2 に示す。これにより、供用期間を 40 年程度で設定した場合はケース 6、供用期間を 100 年程度で設定した場合はケース 3、供用期間を 100 年以上で設定した場合はケース 4 において、最も LCC が小さくなることを確認できた。いずれのケースも無補修であるため、高耐食性鉄筋を用いて目標耐用期間に向けて対策したならば、むやみに補修を施さないほうが経済的であると考えられる。

4. まとめ

本試算の条件下において以下の供用期間内での高耐食鉄筋を使用した場合、LCC を最も縮減できることを確認した。

- (1) 供用期間を 40 年以下の場合は亜鉛めっき鉄筋。
- (2) 供用期間を 40 以上 100 年以下の場合はエポ筋。
- (3) 供用期間を 100 年以上 200 年以下の場合はステンレス鉄筋。

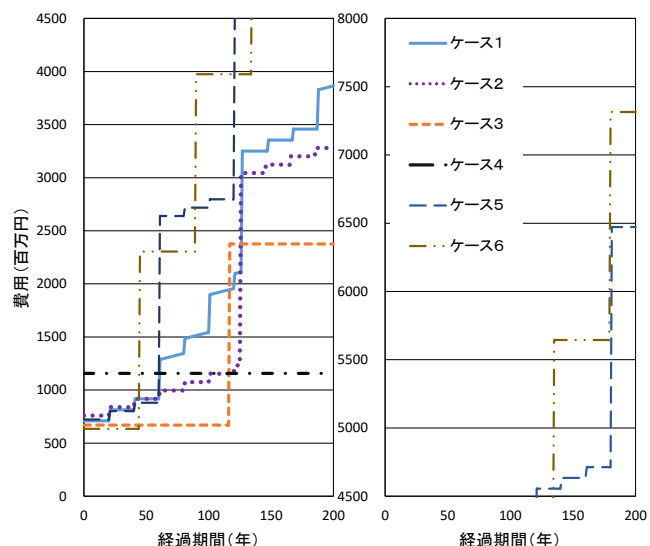


図-1 石川県における栈橋上部工試算結果

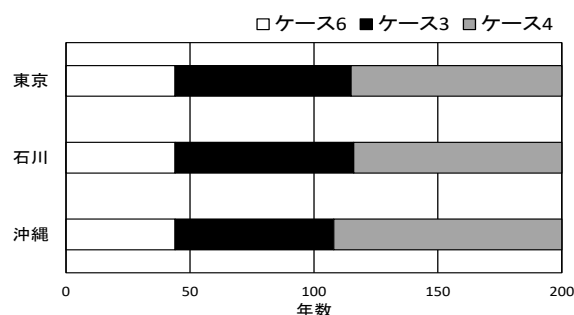


図-2 LCC が最も少なくなる期間

謝辞

株式会社ホープ設計ならびに愛知製鋼株式会社におかれましては、多大なるご助言を頂きました。深く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：2018 年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編], p.5, pp.140-152, 2018
- 2) 飯島亨, 工藤輝大, 玉井譲: コンクリート中の鉄筋腐食速度に及ぼす気温の影響, 鉄道総研報告, 第 23 巻, 第 6 号, pp.11-16, 2009
- 3) 独立行政法人港湾技術研究所: 栈橋上部工の維持管理シナリオに関する検討, 港湾技術研究所資料, No.1926, p.37, 57, 63, 83, 90, 2015
- 4) 気象庁の年間平均気温に関する Webpage, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, (閲覧日: 2018.12.3)
- 5) 宮里心一, 上田隆雄, 野島昭二: 補修費用のみならず点検費用を考慮した LCC の試算, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文集, 第 12 巻, pp.165-172, 2012