

経年劣化した棧橋の耐荷性を考慮した ライフサイクルシナリオに関する検討

EVALUATION OF LIFE-CYCLE SCENARIO OF DETERIORATED OPEN-TYPE WHARF CONSIDERING DECREMENT IN LOAD CARRYING CAPACITY

山内浩¹・横田弘²・加藤絵万³・岩波光保³

Hiroshi YAMAUCHI, Hiroshi YOKOTA, Ema KATO and Mitsuyasu IWANAMI

¹非会員 (株)日本港湾コンサルタント 九州支社 (〒812-0014 福岡市博多区比恵町1-1)

(前 (独)港湾空港技術研究所LCM研究センター)

²フェロー会員 工博 (独)港湾空港技術研究所LCM研究センター (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

³正会員 工博 (独)港湾空港技術研究所LCM研究センター (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

While lots of harbor structures have been constructed, some of them are reaching the ends of design service life. The number of structures at which remedial actions are required will be increasing rapidly. To meet the increasing number of degraded structures, strategic maintenance and repair methods should be implemented to realize life extension and structural performance recovery, resulting in minimization of life-cycle costs.

In this paper, the method is proposed to evaluate proper life-cycle scenario of deteriorated open-type wharf from the viewpoint of life-cycle cost. The change in load carrying capacity of RC members due to rebar corrosion is taken into account. Based on the calculated results, life-cycle scenarios with different repair plans were discussed from the viewpoints of recovery of load carrying capacity and the relevant life-cycle cost.

Key Words : *maintenance and repair, life-cycle cost, open-type wharf, failure probability, performance level, repair cost*

1. はじめに

高度経済成長期に建造された港湾構造物の多くは、老朽化が進んでおり、必要性能を保持していない構造物が今後加速的に増加していくことが予測される。港湾構造物の性能を常に要求水準以上に保持した状態で、より長く利用するためには、効率的かつ低コストとなるマネジメント手法の確立が必要である。このような背景の中、近年、港湾構造物のライフサイクルコストの検討が進められ、多くの成果が報告されている。しかしながら、報告された手法のほとんどは、経年劣化による性能の低下を材料劣化による耐久性の低下に代表させて間接的、定性的に評価しているものが多く、終局耐力の低下を補修対策に反映した事例は少ない。

本検討では、係船岸の設計において支配的である地震作用を受ける場合を考え、劣化による終局耐力の低下を地震被害による復旧費用(地震リスク)として定量的に把握し、維持管理計画に反映するため、ライフサイクルシナリオの評価を行った。この地震被害による復旧費用、

補修費用および維持管理費用の総和をライフサイクルコストと定義し、ライフサイクルコストが最小となるケースを最適なシナリオとして評価した。また、検討構造形式として劣化事例の報告および補修実績が多いことなどの理由により、棧橋を対象とした。棧橋の残存耐力を考慮することで、施設に適したライフサイクルシナリオを選択することが可能となる。

2. 検討方針

本来、棧橋は軽量であり、保有耐力が大きいため、耐震性に優れる構造形式である。しかし、構成材料の経年劣化によって、各部材の耐荷性は低下することになる。そのため、各部材の劣化予測に基づき、部材・部位別の補修シナリオを設定し、設定シナリオごとの補修時の終局耐力の低下を考慮して地震リスクを評価した。

ここで、式(1)に示すようにライフサイクルコストを定義し、予定供用期間内に発生するコストの評価を行った。なお、初期建設費は考慮しなかった。

$$LCC = \Sigma I_{\text{repair}} + \Sigma R + \Sigma C_T \quad (1)$$

ここに、 LCC : ライフサイクルコスト、 ΣI_{repair} : 補修費用（補修材料の更新費用を含む）の合計、 ΣR : 維持管理費の合計、 ΣC_T : 復旧費用の合計（供用期間中に受けると考えられる地震被害に対する復旧費用の期待値）

また、各部材（部位）の劣化状態と地震リスクの関係は以下のように考え、復旧費用の算定に反映した。

a) 下部工

下部工は、設計当初に想定していた許容腐食量を超過すると、終局耐力が低下し、地震リスクが大きくなるため、復旧費用が増加するものと考えた。

b) 上部工（スラブ）

上部工（スラブ）は、地震作用を考慮しないで設計されるため、劣化状態と地震リスクの関連はないものと考えた。

c) 上部工（はり）

上部工（はり）は、鉄筋腐食による劣化が進行した場合、終局耐力が低下し、地震リスクが大きくなるため、復旧費用が増加するものと考えた。

3. 残存性能を考慮した栈橋のライフサイクルシナリオの評価手順

図－1 に示す評価手順の1)～3)で補修費用、4)～6)で復旧費用を算定した。この手順に従って、補修時の残存性能を考慮したライフサイクルシナリオの評価を行った。

(1) 劣化状態の予測

一般に、上部工を構成する RC 部材の劣化進行過程は、潜伏期（劣化度 0）、進展期（劣化度 I）、加速期（劣化度 II～III）、劣化期（劣化度 IV～V）の 4 過程に分類される¹⁾。

潜伏期は、鉄筋の腐食が開始する直前の状態までの期間で、塩害においては、鉄筋位置のコンクリートに限界量以上の塩化物イオンが蓄積されると腐食が開始されると考えられている。この塩化物イオンの限界量としては、 $1.2 \sim 2.5 \text{ kg/m}^3$ の値が一般的に用いられる。これ以降の劣化過程については、目視調査結果などから判断される定性的指標のみで、定量的な指標は示されていない。

既往の研究²⁾において、塩害の進行過程の境界となる、

鉄筋位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界に達する時期、腐食ひび割れの発生時期、鉄筋腐食による体積減少量と劣化度の関係の経時変化を定量的に評価し、栈橋上部工の劣化予測を行う手法が提案されている。この手法により劣化予測を行った結果、劣化条件を適切に設定することで良好な予測結果を得ることができたと言われている。ここでは、この手法を準用した。

(2) 補修シナリオの設定

栈橋の補修シナリオは、下部工の腐食状態、防食工の劣化・消耗状態、上部工の劣化状態などから現況を把握し、今後の劣化予測を踏まえて設定した。劣化予測結果をもとに、各部材に適用可能な補修工法と補修時期の組合せや補修材料の更新の有無など、補修シナリオを設定した。

各部材の補修材料については、補修後の材料の劣化予測を行い、更新時期の設定を行うことが重要である。しかし、環境条件および使用材料によってばらつきがあるため、現状において必ずしも全てが精度良く予測できるわけではない。したがって、本検討においては、補修材料の更新の有無および補修工法の耐用期間に関しては、既往の関連資料^{3,4)}を参考に設定した。

(3) 補修費用の算定と最適補修シナリオの選定

(2)において設定した各部材の補修シナリオについて、供用期間中に必要となる補修費用および補修材料の更新費用を計上した。維持管理費用が必要な補修工法については、その費用も計上した。これらの総費用が最小となるシナリオを最適補修シナリオとして選定した。

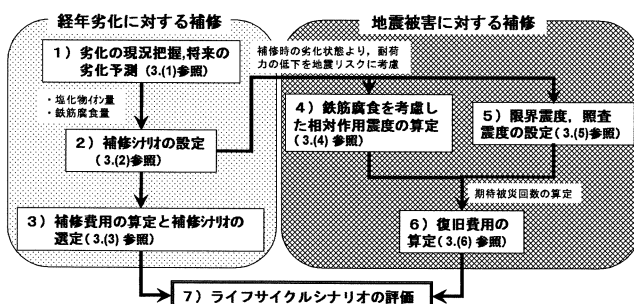
(4) 鉄筋腐食を考慮した相対作用震度の算定

上部工を構成する RC 部材（はり）の鉄筋腐食と終局耐力の関係について述べる。設計外力として地震時の杭頭曲げモーメントを考慮し、はりの鉄筋腐食と終局耐力の低下の関係について評価した。

各杭の杭頭曲げモーメントは、チャンの式により算定した。ここで、健全なはり（終局耐力： M_u ）が破壊する作用震度を k_{h1} 、鉄筋腐食後のはり（終局耐力： $M_{u(\text{cor})}$ ）が破壊する作用震度を k_{h2} とすると、終局耐力の比率は式(2)のように表すことができる。

$$M_u / M_{u(\text{cor})} = k_{h1} / k_{h2} \quad (2)$$

$M_u > M_{u(\text{cor})}$ より、鉄筋腐食が生じたはりは、健全時には破壊に至らない作用震度でも部材が破壊に至る可能性があるといえる。したがって、鉄筋腐食が生じたはりには、便宜上、健全時より大きな震度が作用するものとする。この耐荷性の低下を表現する。この作用震度を「鉄筋腐食を考慮した相対作用震度」と定義し、式(2)における k_{h1} を k_h （作用震度）、 k_{h2} を $k_{h(\text{cor})}$ （鉄筋腐食を考慮した相対作用震度）に置き換えると、式(3)のように表すことができる。



図－1 ライフサイクルシナリオ評価手順

$$k_{h(corr)} = (M_{u(corr)} / M_u) \cdot k_h = \alpha_M k_h \quad (3)$$

ここに、 α_M ：終局耐力低下比率（ $= M_{u(corr)} / M_u$ ）

加藤らの研究⁵⁾によると、鉄筋腐食が生じた RC はり部材の耐荷性は、せん断補強筋の腐食程度によらず、主筋の腐食のみを考慮すれば評価可能であるとされている。したがって、はり部材の曲げ破壊耐力については、主筋の腐食のみを考慮して評価を行うこととした。

(5) 限界震度および照査震度の設定

a) 限界震度および照査震度の定義

栈橋の耐震性能照査は、簡便法、弾塑性解析法あるいは非線形動的解析法のいずれかで検討するのが望ましいとされている⁶⁾。本検討では、簡便法の照査式である式(4)を用いて検討を行い、この式の等号が成立する作用震度 k_g を限界震度 $k_{h(limit)}$ と定義した。限界震度以上の作用震度が発生した場合、栈橋全杭の杭頭および地中部の仮想固定点において曲げモーメントが全塑性モーメントに達するため、全ての杭が塑性化するものと仮定する。

$$R_a \geq k_g W$$

$$R_a = \sqrt{2\mu_a - 1 + \theta(\mu_a - 1)^2} P_y \quad (4)$$

ここに、 R_a ：地震時保有耐力（kN）、 k_g ：作用震度、 W ：栈橋上部工自重＋上乗荷重（地震時）（kN）、 μ_a ：許容塑性率、 θ ：荷重と水平変位の関係における二次勾配と一次勾配の比（0 とする）、 P_y ：弾性限度に対応する耐力（kN）

限界震度は、杭頭部の腐食が進行すると終局耐力が低下し、小さくなるため、地震リスクが大きくなるものと考えた。

また、設計時に杭の保有耐力照査を行った震度を照査震度（ $k_{h(verify)}$ ）と定義した。はりの詳細設計においては、照査震度が作用したときの断面力を設計用値として採用しているため、これより大きな作用震度が発生した場合には、はりが破壊に至るものと仮定した。

b) 作用震度と地震被害に対する復旧範囲

本検討における栈橋の地震被害に対する復旧範囲は、表-1に示すように、作用震度 k_h 、鉄筋腐食を考慮した相対作用震度 $k_{h(corr)}$ 、照査震度 $k_{h(verify)}$ および限界震度 $k_{h(limit)}$ の大小によって「地震による被害なし」、「上部工の復旧」および「栈橋全体の復旧」の3段階で判定した。

(6) 復旧費用の算定

栈橋の供用期間中には、地震が複数回作用する可能性がある。したがって、地震の規模に応じた期待被災回数を考慮する必要がある。構造物が設計供用期間中に被災を受ける期待回数と期待復旧費を乗じた総和を復旧費用と定義した。

式(5)に期待被災回数の算定式を示す。

表-1 作用震度と被災（復旧）範囲

作用震度	復旧範囲	備 考
$k_{h(corr)} \leq k_{h(verify)}$	被災なし	
$k_{h(verify)} < k_{h(corr)}$ $k_h \leq k_{h(limit)}$	上部工	設計断面力を超過するため、はりが破壊すると仮定
$k_{h(limit)} < k_h$	栈橋全体 (上部工, 下部工)	全ての杭が全塑性すると仮定

$$\sum_{i=k}^n E_{ni} = p_f \cdot \nu \cdot N_{11}$$

$$E_{nk} = \sum_{i=k}^n E_{ni} - \sum_{i=k+1}^n E_{ni} \quad (5)$$

ここに、 $\sum_{i=k}^n E_{ni}$ ：対象とする作用震度より大きな地震が N_1 年間に発生する期待回数（回）、 ν ：対象とする作用震度以上の地震の年発生率（ $= 1 / T_R$ ）、 T_R ：対象とする作用震度以上の地震の再現期間（年）、 N_1 ：予定供用期間（年）、 E_{nk} ：対象とする作用震度の地震が N_1 年間に発生する期待回数（回）

a) 期待被災回数の算定

長尾ら⁷⁾は防波堤の最適断面の選定手法として、破壊確率を考慮したライフサイクルコストにより評価する研究を行っており、被災額算出において、期待被災回数を考慮している。本検討において、照査震度以上の鉄筋腐食を考慮した相対作用震度が発生した場合には「被災する」と定義しているため、式(5)における破壊確率（ p_f ）は 1 または 0 のみを考慮し、期待被災回数を算定した。

b) 地盤最大加速度の算定方法

米山ら⁸⁾は、過去に野田ら⁹⁾が過去の地震による重力式係船岸の被災事例を分析して提案した地盤最大加速度と作用水平震度の上限値の関係式を0.59倍し、地盤最大加速度と作用水平震度の平均的な関係式を提案している。この式は、港湾構造物に対する地域別震度を設定した際に用いられている。

また、その際の地域別震度と基盤加速度の関係は、地盤が第一種地盤の場合を想定しているため、式(6)に示すように設計地点における地盤種別係数の比率を考慮することで、地盤条件に関係なく適用できる。

$$\alpha' = \left(\frac{k_h}{0.197 \times a} \right)^3 \times g \quad (\alpha \geq 200 \text{ Gal})$$

$$\alpha' = \left(\frac{k_h}{0.59 \times a} \right) \times g \quad (\alpha < 200 \text{ Gal}) \quad (6)$$

ここに、 α' ：第一種地盤相当の地盤最大加速度（Gal）、 a ：地盤種別係数比（＝設計地点での地盤種別係数／第一種地盤の地盤種別係数）

c) 再現期間と基盤加速度の期待値

北澤らは、再現期間と地震動の最大加速度期待値は両対数軸上で線形の関係であるとして、式(7)を与えている¹⁰⁾。

$$\log_{10} T_R = A + B \log_{10} \alpha \quad (7)$$

ここに、 T_R ：再現期間（年）、 α ：再現期間 T_R に対応する基盤加速度（Gal）、 A, B ：回帰係数

ここで、 $\alpha = \alpha'$ と考え、文献6)に示された再現期間75年における基盤加速度の期待値を式(7)に代入すると、各地域区分における再現期間 T_R は、表-2に示す式により算定することができる。

(7) ライフサイクルシナリオの評価

(1)~(6)に示した手順に従い、栈橋のライフサイクルコストを算定することで、最適なシナリオを選定することができる。

4. 既設栈橋のライフサイクルコストの算定

(1) ライフサイクルコスト算定の方針

3. に示した評価手順に従って、図-2 に示す栈橋¹⁾について、ライフサイクルコストの算定例を示す。ライフサイクルコストの算定条件は、表-3 に示す異なる5ケースを設定した。表中のケース1を基本ケースとし、基本ケースと異なっている条件を網掛けで表している。

また、本検討におけるライフサイクルコスト算定の前提条件は以下のとおりである。

- ・ライフサイクルコスト算定の対象は栈橋本体のみとする。
- ・復旧費用の算定には、液状化を考慮しない。
- ・補修工事または復旧工事による供用停止期間の係留施設使用料の損失、背後地への経済的損失等の間接的な費用は考慮しない。
- ・下部工の補修は、被覆防食の範囲では防食材の耐用年数で防食材の更新、海中部は建設当初に想定した設計耐用年数経過時に補強（許容腐食量超過と仮定する）する。
- ・復旧費用は、撤去、廃棄にかかる費用を見込んで、復旧範囲の初期建設費の5割増しの費用とする。
- ・はりの終局耐力が健全時の80%となった時点を使用性能上の限界状態、60%となった時点を安全性能上の限界状態と仮定する。はりの安全性能上の限界状態を下回ると通常時の要求性能を満足しないものと考え、この時点までに補修を行うものとする。
- ・補修費用、復旧費用およびライフサイクルコストの算定結果は、栈橋本体工の初期建設費を1.0として、比率で表す。

(2) 上部工の劣化度の推移とはりの終局耐力の予測

表-3 に示したケース1を例とし、ライフサイクルコストの算定結果を示す。検討手順は図-1 に示したとおりである。他のケースも同様の手順により検討を行うため途中過程は省略し、検討結果のみを記す。

栈橋上部工の劣化度の推移予測は文献2)に示された手法を準用し、はりの終局耐力は、鉄筋腐食を考慮して予測した。スラブおよびはりの劣化度の推移予測結果およびはりの終局耐力低下予測結果を図-3 に示す。本検討ケースは、供用後15年が経過しており、劣化状態を予測した結果、上部工の各部位の劣化度は、スラブが劣

表-2 地域区分と再現期間の関係式

地域区分	再現期間 T_R
A	$T_R = 10^{-2.959} \times \alpha'^{1.9}$
B	$T_R = 10^{-2.681} \times \alpha'^{1.9}$
C	$T_R = 10^{-2.497} \times \alpha'^{1.9}$
D	$T_R = 10^{-2.260} \times \alpha'^{1.9}$
E	$T_R = 10^{-1.925} \times \alpha'^{1.9}$

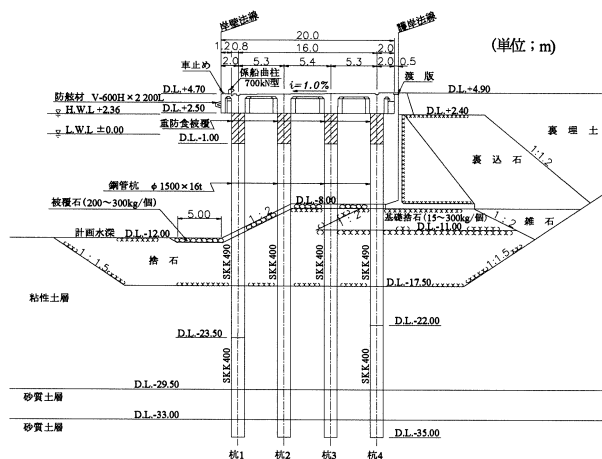


図-2 検討断面

表-3 検討ケース一覧

ケース	劣化条件	検討時期	将来予定供用期間	照査震度	限界震度
1	・表面塩化物イオン量(C_o) 〈スラブ〉 $>9.0\text{kg/m}^3$ 〈梁〉 $>13.0\text{kg/m}^3$ ・拡散係数 $D=1.006\text{cm}^2/\text{年}$	建造後15年目	50年	0.40	0.43
2	・表面塩化物イオン量(C_o) 〈スラブ〉 $>5.4\text{kg/m}^3$ 〈梁〉 $>7.8\text{kg/m}^3$ ・拡散係数 $D=0.653\text{cm}^2/\text{年}$	建造後15年目	50年	0.40	0.43
3	・表面塩化物イオン量(C_o) 〈スラブ〉 $>9.0\text{kg/m}^3$ 〈梁〉 $>13.0\text{kg/m}^3$ ・拡散係数 $D=1.006\text{cm}^2/\text{年}$	建造後25年目	50年	0.40	0.43
4	・表面塩化物イオン量(C_o) 〈スラブ〉 $>9.0\text{kg/m}^3$ 〈梁〉 $>13.0\text{kg/m}^3$ ・拡散係数 $D=1.006\text{cm}^2/\text{年}$	建造後15年目	100年	0.40	0.43
5	・表面塩化物イオン量(C_o) 〈スラブ〉 $>9.0\text{kg/m}^3$ 〈梁〉 $>13.0\text{kg/m}^3$ ・拡散係数 $D=1.006\text{cm}^2/\text{年}$	建造後15年目	50年	0.30	0.43

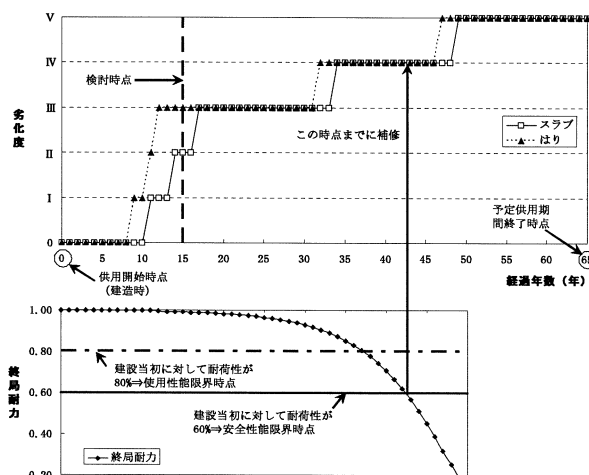


図-3 劣化度推移予測と終局耐力低下予測

化度Ⅱ，はりが劣化度Ⅲの状態にあると推測された。

文献2)によると，劣化度Ⅱ～Ⅲへ移行する時に腐食ひび割れが入り，その後鉄筋腐食が加速的に進行すると仮定されている。したがって，劣化度Ⅱまでは終局耐力の低下はないと考えた。

(3) 補修シナリオの設定

上部工の補修は，劣化度の推移予測結果に基づき，検討時点および劣化度が移行する時点で行うものとした。

下部工については，前提条件に示したとおりである。これらの条件をもとに，各部材（部位）の補修シナリオを設定し，検討を行った。検討の結果，スラブは「電気防食工法による補修（劣化度Ⅲ時点）」，下部工の杭頭部～干満帯付近は「モルタルライニング工法」，はりについては，「電気防食工法による補修（安全性能限界時）」が最も経済的となった。

(4) 終局耐力の低下を考慮した復旧費用の算定

a) 照査震度，限界震度と作用震度

3.(5)に示した手法に基づき，照査震度および限界震度を算定した。算定結果より，発生作用震度と復旧範囲の関係は表-4に示すとおりである。

b) 各作用震度の年発生回数の期待値および鉄筋腐食を考慮した相対作用震度の算定

はりの補修時期の違いによる終局耐力低下比率の推定結果を図-4に示す。上部工の再劣化現象をいかに本手法に反映させていくかについては今後の課題であるが，本検討においては，既設コンクリート中に残存する塩化物イオンによる影響や飛来塩分により鉄筋腐食が進行しないように補修を行ったものとし，補修材料の有効期間内において終局耐力は低下せず，一定レベルの性能を維持するものと仮定した。この結果を考慮して，鉄筋腐食を考慮した相対作用震度の算定を行った。

c) 復旧費用の算定結果

各補修シナリオに対する期待被災回数を算定し，復旧費用を算出した。復旧費用の割合についての算定結果を図-5に示す。

検討の結果，復旧費用は，劣化度Ⅲの時点で補修を行った場合と比べると，使用性能限界時点では約2倍，安全性能限界時点では約4倍となっていることが分かる。

(5) ライフサイクルコストの算定

これまでの検討結果より，補修時の劣化状態により，復旧費用に大きな差が生じることが分かった。各補修シナリオにおける補修費用および復旧費用の算定結果をもとに算定したライフサイクルコストを表-5に示す。同表には表-3に示した他のケースの検討結果も示している。また，表中の網掛け部は，各々のケースにおいて最も経済的となったケースである。

ケース1における代表的なライフサイクルコストの経年変化を図-6および図-7に示す。ライフサイクルコストが最小となったのははりの補修時期が劣化度Ⅲ（電気防

表-4 作用震度と復旧範囲の関係

作用震度	復旧範囲
$k_{h(corr)} \leq 0.40$	被災なし
$0.40 < k_{h(corr)}$ $k_h \leq 0.43$	上部工
$0.43 < k_{h(corr)}$	栈橋全体 (上部工，下部工)

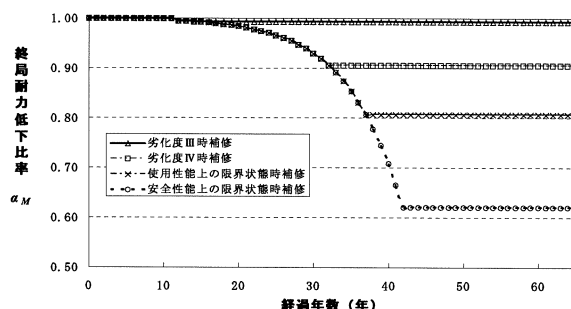


図-4 終局耐力低下比率推定図

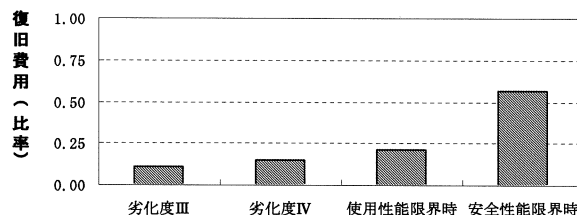


図-5 復旧費用算定結果

食)のシナリオ(図-6)に比べ，安全性能上の限界状態で補修(電気防食)を行ったケース(図-7)においては，鉄筋腐食による復旧費用の増分がライフサイクルコストの約1/3を占めており，補修時期を遅らせたことにより地震リスクが大きくなったことがわかる。

(6) 考察

本検討では，いくつかの異なる条件でライフサイクルシナリオの検討を行った。検討条件の違いがライフサイクルコストの検討結果にどのように影響したか，以下にまとめる。

- ・上部工の劣化速度が遅いケース(ケース2)は，はりの終局耐力の低下までに時間を要するため，地震リスクの割合は小さくなった。その結果，補修時期の違いによるライフサイクルコストの差はほとんどなかった。
- ・建造後の供用期間が長く，検討時期が遅くなるケース(ケース3)は，劣化がより進行した状態で補修を行うこととなるため，期待被災回数が増え，復旧費用の比率が大きくなった。
- ・予定供用期間が長いケース(ケース4)では，被覆防食の補修工法は，金属ライニングが最適であるとの結果になった。これは，補修単価は高いが，他工法より耐久性に優れるため，ライニングの更新回数が少なく

表-5 ライフサイクルコスト検討結果一覧

		コ ス ト 比 率														
はり 劣化度	補修工法	劣化度Ⅱ			劣化度Ⅲ			劣化度Ⅳ			使用性能限界時 (耐荷力比80%時)			安全性能限界時 (耐荷力比60%時)		
		表面被 覆工法	電気防 食工法	脱塩 工法	表面被 覆工法	電気防 食工法	脱塩 工法	表面被 覆工法	電気防 食工法	脱塩 工法	表面被 覆工法	電気防 食工法	脱塩 工法	表面被 覆工法	電気防 食工法	脱塩 工法
ケ ー ス	1	—	—	—	1.065	1.020	1.087	1.073	1.041	1.101	1.109	1.104	1.137	1.464	1.457	1.492
	2	0.987	0.969	1.010	0.996	0.959	1.018	0.987	0.961	1.016	0.985	0.986	1.013	1.086	1.085	1.114
	3	—	—	—	1.097	1.052	1.119	1.100	1.088	1.128	1.188	1.157	1.216	1.684	1.651	1.712
	4	—	—	—	2.049	1.984	2.071	2.103	2.050	2.131	2.276	2.205	2.304	3.307	3.263	3.335
	5	—	—	—	1.370	1.326	1.393	1.464	1.431	1.492	1.684	1.679	1.712	3.014	3.007	3.042

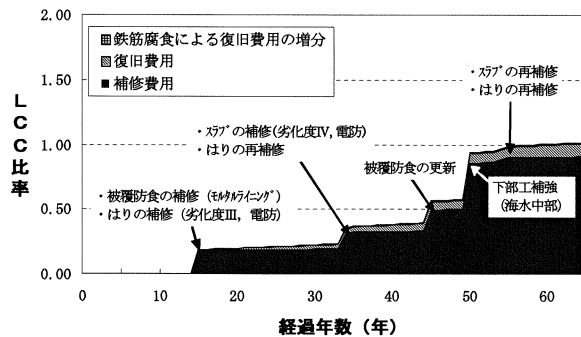


図-6 ライフサイクルコスト経時変化図
(はり補修時期：劣化度Ⅲ)

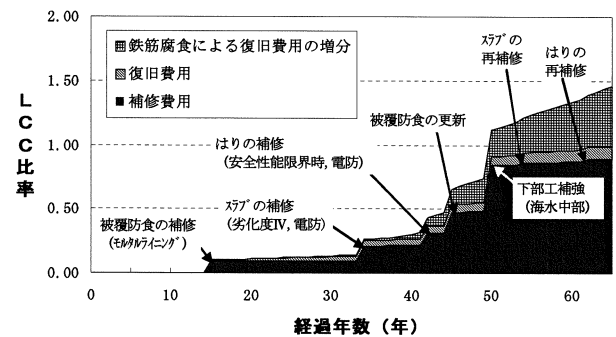


図-7 ライフサイクルコスト経時変化図
(はり補修時期：安全性能限界時)

なり、長期的には経済的となったためである。また、終局耐力が小さくなって補修をすると、期待被災回数が増えるため、補修だけでなく、更新するケースの検討も必要であることが示唆された。

- ・照査震度が小さい条件（ケース 5）では、地震リスクの影響がより大きくなるため、期待被災回数が増え、ケース 1 に比べ、補修時期の差が顕著に出る結果となった。

5. おわりに

本検討では、上部工コンクリートの劣化進行による耐荷性の低下と地震によるリスクの増加を関連づけた既設栈橋のライフサイクルシナリオ評価手法を示した。また、地震発生確率の地域区分、地盤種別条件の評価式を用い、地域特性を考慮した復旧費用の算定手法を提案することができた。同手法は、既設栈橋のみでなく、新設栈橋におけるライフサイクルシナリオ評価にあたって有効な手法であるとする。

今後、本検討で示した手法の評価結果を積極的に活用していくためには、以下の観点に基づく検討を行うことが必要と考える。

- ・劣化予測結果がライフサイクルコスト評価に与える影響が大きいため、これらの予測を精度よく行うための環境条件の設定
- ・補修時および復旧時における供用停止による施設使用料の損失や社会的な経済損失などの間接費用の評価
- ・社会的割引率の適切な設定方法

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，2001.
- 2) 古玉悟，田邊俊郎，横田弘，濱田秀則，岩波光保，日比智也：栈橋の維持補修マネジメントシステムの開発，港湾技研資料，No.1001，2001.6.
- 3) 東京港埠頭公社：土木施設維持管理マニュアル，2004.6.
- 4) 防食・補修工法研究会：港湾鋼構造物調査診断・防食・補修工法〔実務ハンドブック〕，2002.2.
- 5) 加藤絵万，岩波光保，横田弘，中村晃史，伊藤始：繰返し載荷を受けるRCはりの構造性能に及ぼす鉄筋腐食の影響，港湾空港技術研究所資料，No.1079，2004.6.
- 6) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，1999.4.
- 7) 長尾毅，松渕知：破壊確率を考慮した防波堤のライフサイクルコストと許容破壊確率，港湾技術研究所報告，Vol.38，No.2，pp.395-422，1999.6.
- 8) 米山治男，白石悟：港湾地域における地震荷重の変動係数および荷重係数の評価，港湾技研資料，No.982，2001.3.
- 9) 野田節男，上部達男，千葉忠樹：重力式岸壁の震度と地盤加速度，港湾技術研究所報告，Vol.14，No.4，pp.67-112，1975.12.
- 10) 北澤壮介，上部達男，檜垣典弘：沿岸域における基盤の最大加速度期待値の推定，港湾技研資料，No.486，1984.6.
- 11) 沿岸開発技術研究センター：港湾構造物設計事例集（上巻），第4章直杭式横栈橋，1999.4