

## 栈橋の残存耐力評価手法の開発



五洋建設株式会社 技術研究所  
宇野 州彦

### 1. はじめに

高度経済成長期に建設された港湾構造物は老朽化が進行しており、公共岸壁数約 5 000 施設（水深 4.5 m 以深）のうち、建設から 50 年以上が経過する施設が、2034 年には約 60% にまで急激に増加するといわれている。今後増加する老朽化した施設に対して、効率的に維持管理を進めていくことが求められている。栈橋の点検調査技術は水中ドローンや無線 LAN ボートを用いた省力化技術が推進されているが、点検結果だけでは地震力などに対する具体的な損傷が不明なため、管理者が補修補強などの意思決定しにくい状況である。一方、地震力などによる損傷状況といった栈橋の残存耐力を評価するためには、詳細調査や詳細な FEM 解析が必要となるため、劣化した栈橋の多くは残存耐力を評価せずに劣化箇所を原形復旧するといった対処療法的な方法が選択され、合理的な補修補強に至っていないというのが実状である。

このような背景を踏まえ、一般定期点検診断によって得られる劣化度判定結果（a～d）<sup>1)</sup> から、汎用の構造解析ツールを用いて効率的に栈橋の残存耐力を評価できる手法を開発した。本報告ではその手法について紹介する。

### 2. 残存耐力評価手法の概要

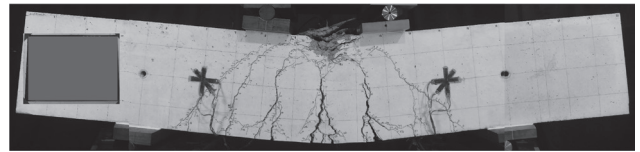
#### 2.1 各劣化度を模擬した RC 梁の載荷実験<sup>2)</sup>

詳細調査や詳細 FEM 解析を実施せずに、劣化度判定結果から汎用の構造解析ツールにより栈橋の残存耐力を評価するためには、各劣化度（a～d）に応じた部材の残存耐力を明らかにし、耐力に応じた骨格曲線を設定する必要がある。なお、通常の栈橋設計では、スラブは栈橋の構造部材（外力に対する抵抗部材）とは考えないことから、本検討では梁のみを耐力評価の対象とする。

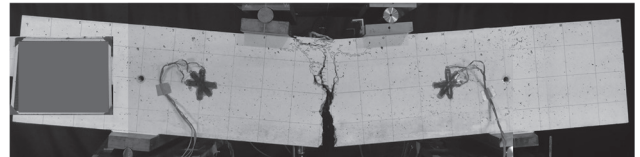
劣化度に応じた複数の梁試験体を製作し、2 点対称一方向の曲げ載荷実験を実施した。劣化を模擬するため梁の試験体に電食を行い、内部の鉄筋を急速に腐食させた。各劣化度に対応する試験体を製作したのち、試験体に上から荷重を作用させ、それぞれの試験体の耐力を確認した。

各試験体のひび割れ性状の一例を写真 - 1 に示す。劣化のない健全な梁は荷重が作用した際に広い範囲にひび割れが発生し、試験体全体で荷重に対して抵抗している状況が分かる。一方で劣化度 a と判定される梁では、ひび割れの発生範囲や本数が減少し、局所的な破壊形態となっている。このように鉄筋の腐食が著しくなると、試験体の一部でしか荷重に抵抗できなくなるため、耐力が低下すること

となる。図 - 1 に示す各劣化度の荷重 - 変位関係から、健全な梁に比べ劣化度 a 判定の梁では鉄筋降伏時の荷重が約 4 割低下、b 判定では約 2 割低下、c 判定では約 1 割低下するという結果となった。



(a) 劣化のない健全な試験体



(b) 劣化度 a 判定の試験体

写真 - 1 各試験体のひび割れ性状

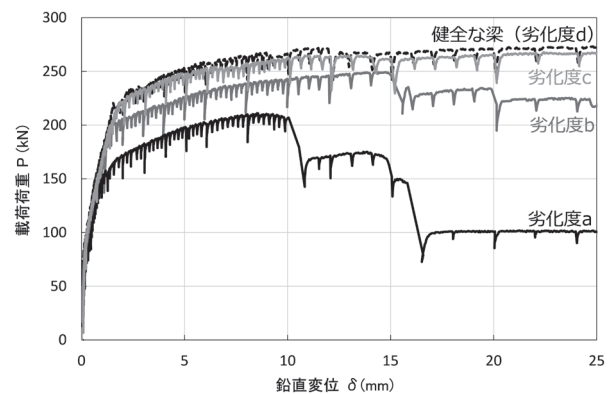


図 - 1 各劣化度の荷重 - 変位関係<sup>2)</sup> に加筆

#### 2.2 劣化度に応じた骨格曲線の定義

各劣化度に対応する耐力を構造解析ツールで考慮するため、前述した載荷実験の結果を踏まえ、劣化度に応じた骨格曲線を定義する。図 - 2 に劣化度 a の骨格曲線の例を示す。説明を簡単にするために、ここではバイリニア型の非線形モデルを示している。劣化度 a は弾性域の剛性および塑性域の剛性ともに 4 割減とした骨格曲線とし、さらに詳細は割愛するが、海洋環境で鉄筋が腐食した実栈橋の梁との耐力の違いや、試験体の寸法効果なども考慮したうえで骨格曲線を定義する<sup>3)</sup>。劣化度 b, c についても前節の載荷実験結果や実栈橋梁の結果等を踏まえ、同様に骨格曲線を定義する。なお、実際の構造解析では RC 部材のモデル化で武田モデル<sup>4)</sup> などがよく利用されるが、上述した内容と同様に劣化度による剛性変化を考慮し骨格曲線を定義すればよい。

### 3. 残存耐力評価手法の実栈橋への適用

一般定期点検診断から得られた劣化度判定結果を図 - 3 に示す。杭の劣化度調査は実施していないため、港湾の施設の技術上の基準（港湾基準）に基づいて、杭の肉厚を減

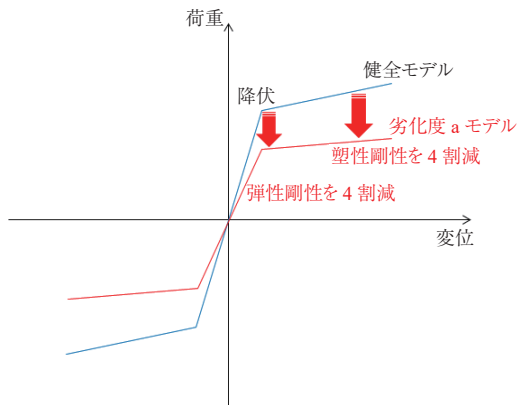


図 - 2 荷重実験を踏まえた劣化度 a の骨格曲線イメージ<sup>2)</sup>

少さな劣化を表現した。外力条件としてレベル1地震動およびレベル2地震動を用い、地震応答解析を行った。

解析結果を図 - 4 に示す。レベル1地震動が作用した場合には、杭には損傷が見られず、梁には広い範囲にひび割れ損傷が生じている。降伏には至っていないものの、ひび割れ損傷が発生した箇所では塩化物イオン等の劣化因子が侵入しやすく急速に鉄筋腐食が進行することから、適切な補修が必要となる。レベル2地震動が作用した場合には、杭にも降伏を超える損傷が生じており、上部工は長辺方向端部寄りの梁において、降伏や終局に至る損傷が生じている。このように、残存耐力を評価することで、具体的な損傷箇所やそれに伴う荷役作業の制限範囲、補修補強の優先箇所等を具体的に示すことができる。

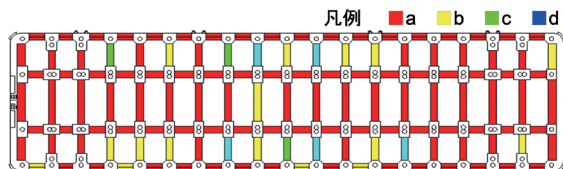


図 - 3 対象橋の劣化度判定結果

#### 4. おわりに

橋の残存耐力評価を短期間で効率的に実施できる手法について紹介した。今回紹介した手法により、橋の具体的な損傷箇所とその程度を把握することができる。また、短期間で維持管理計画書が作成できるため、複数の橋を保有している管理者にとっては、それぞれの橋の劣化状況や残存耐力を比較する時間が確保でき、効率的な橋の維持管理優先度を決定することも可能となると考えられる。また現在は、AI 技術を用いた残存耐力評価手法についても開発を行っている<sup>5,6)</sup>。これにより構造解析が不要

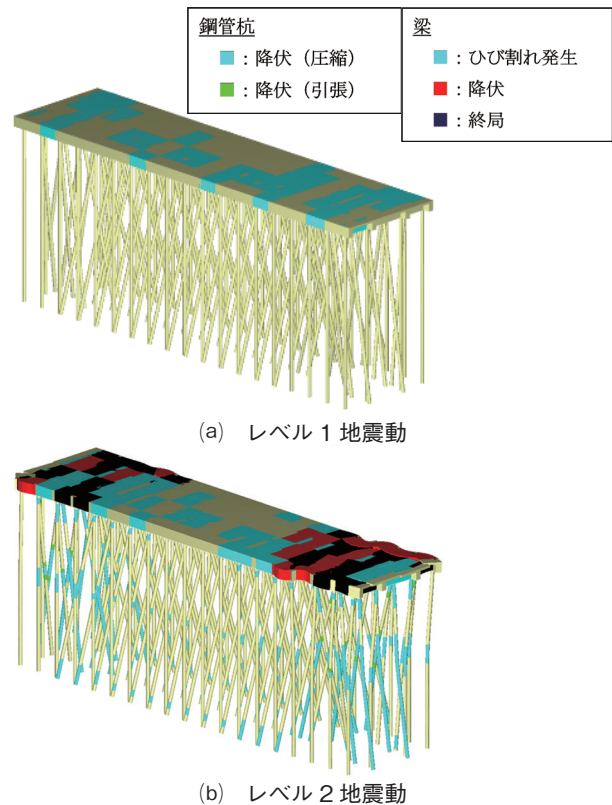


図 - 4 地震による橋の損傷状況

となるため、さらに短期間に橋の残存耐力を評価することが可能となり、効率的な維持管理が一層進むものと考えている。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：港湾の施設の点検診断ガイドライン【第2部 実施要領】，p.3-34，2015。
- 2) 宇野州彦，岩波光保：劣化度判定結果を活用した残存耐力評価手法の実橋への適用，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.74，No.2，pp.1\_55-1\_60，2018。
- 3) 宇野州彦，岩波光保：鉄筋腐食を有する橋上部工を模擬した試験体の残存耐力に与える腐食方法及び縮尺の影響評価，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.75，No.2，pp.1\_827-1\_832，2019。
- 4) Takeda, T., Sozen, M. A. and Nielsen, N. N. : Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, Journal of Structural Division, ASCE, 96 (12), pp.2557-2573, 1970。
- 5) 宇野州彦，白可，岩波光保：人工知能技術を活用した残存耐力評価手法に関する研究，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.76，No.2，pp.1\_600-1\_605，2020。
- 6) 宇野州彦，白可，岩波光保：画像情報を用いた機械学習手法による橋の残存耐力評価に関する研究，AI・データサイエンス論文集，Vol.1，No.11，pp.132-141，2020。

【2021年3月1日受付】