鋼構造物の点検･調査技術

土木学会　鋼構造委員会
「構造物の長寿命化技術に関する検討小委員会」
「鋼構造物の長寿命化技術」に関する講習会
2016年6月22日

パシフィックコンサルタンツ株式会社　中澤　治郎

鋼構造物の点検･調査技術

１．鋼構造物の長寿命と点検･調査
２．鋼構造物の種類と各種の定期点検要領
３．鋼構造物の詳細調査
４．鋼構造物のモニタリング
５．鋼構造物の性能検証
６．今後開発･実装化が期待される技術

1. 鋼構造物の長寿命化と点検･調査①

①社会資本の使命「永続性への暗黙の期待」

②構造物の長寿命化を図ることで、ライフサイクルコストの低減

③一方では、機能向上のための更新、集約などによる廃止も選択肢として存在

④鋼構造物を管理する上で、高度なマネジメントの判断を行うためには、点検、調査手法を駆使し、鋼構造物の現状を適切に把握する必要がある。

⑤以上の点から、鋼構造の点検･調査の現状と課題、今後、開発が期待される技術などについて報告する。

1. 鋼構造物の長寿命化と点検･調査②

一般に行われる鋼構造物の点検･調査は，以下の3つの情報収集に着眼される

①劣化及び損傷の状態の把握

耐荷性能への影響，第三者被害発生の有無など

②劣化及び損傷の進行状況の把握

経年的な劣化や突発的な事象による損傷に対して，進行の状況を明確にする

③劣化及び損傷原因の推定

劣化及び損傷の原因を推定し，その後の診断，対策実施へと情報を引き継ぐ

２．鋼構造物の種類と各種の定期点検要領①

道路施設：鋼道路橋，鋼歩道橋，鋼製シェッド
　　　　　鋼製の標識・照明柱，その他付属物

鉄道施設：鋼鉄道橋

上下水道施設：管路橋

港湾施設：桟橋

空港施設：連絡橋，空港進入灯橋梁

河川施設：水門，樋門

砂防施設：鋼製砂防えん堤

海岸施設：鋼矢板，鋼管矢板

通信施設：通信鉄塔

エネルギー施設：送電用鉄塔，風力発電鉄塔，煙突支持鉄塔，タンク

２．鋼構造物の種類と各種の定期点検要領②

①鋼道路橋（国管理、自治体管理）

・2m以上の全ての橋を対象

・５年に１回の頻度

・近接目視により行なうことを基本

・点検結果は、

　直轄管理の道路橋においては、９段階の対策区分

　自治体管理の道路橋においては、４段階評価

２．鋼構造物の種類と各種の定期点検要領③

②高速道路会社（阪神高速道路の例）

・近接目視点検

・点検と同時に応急措置を実施することを規定
（鋼材腐食片の除去、簡易塗装、ボルトの増締め等）

・１次判定と2次判定
（桁、橋脚、はり上構造物、床版、高欄・水切りに限り２次判定を実施）

・2次判定では、進行性と冗長性を考慮して判定

２．鋼構造物の種類と各種の定期点検要領④

③鉄道構造物

・「鉄道構造物等維持管理標準」H19.1 通達

・初回検査、全般検査、個別検査及び随時検査に区分

・初回検査は、供用開始前や改築・取替え後に実施

・全般検査は、初回検査から2年ごと

・個別検査は、全般検査等でA判定の変状に対して、精度の高い健全度の判定を行なうことなどを目的として実施する。

２. 鋼構造物の種類と各種の定期点検要領⑤

④港湾構造物（護岸・堤防、桟橋など）

・「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」H19

・海面より上の部位・部材

　→一般定期点検診断（１～２年に１回）

・目視が困難な部位・部材

　→詳細定期点検診断（対象施設によって多少異なるが、新規供用して5年以内に1回、その10年後に2回目・・・）

・施設全体の性能を4段階で総合評価する。

２．鋼構造物の種類と各種の定期点検要領⑥

⑤河川用ゲート設備

・「河川用ゲート設備点検・整備・更新検討マニュアル」H20

・管理運転点検（毎月１回、ゲートの操作）

・月点検（管理運転点検が困難な設備において月１回実施）

・年点検（毎年１回、出水期の前に実施）

・点検結果は、処理ランク（緊急度）により区分する。

（早急な処置を実施、なるべく早い処置の実施検討、状況の推移を観察し処置の実施を検討）

３．鋼構造物の詳細調査①

目視による方法では、損傷の検出が困難な場合や、損傷要因の究明や健全度の評価に必要な情報が得られない場合などで実施

鋼構造物の損傷に対応においては、

①疲労き裂に対する非破壊検査技術

②高力ボルトに対する非破壊検査技術

③ケーブル張力の計測技術

などが挙げられる

３．鋼構造物の詳細調査②

①疲労き裂に対する非破壊検査技術

1）従来の非破壊検査方法と疲労き裂の検出精度

・塗膜を除去を前提として、検出精度を確保している。

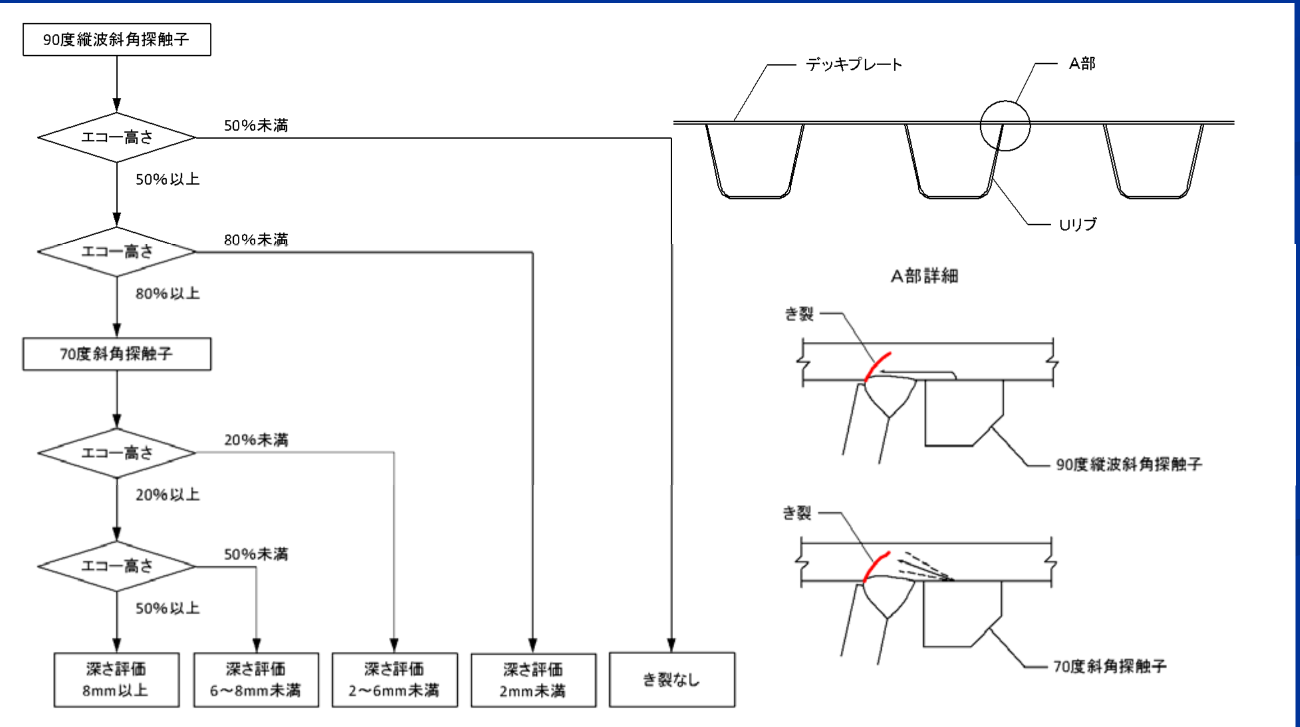
・近年、各方面での研究開発が進んでおり、非破壊検査方法の選定にあたっては、最新の技術動向に注意を払う必要がある。

	き裂検出限界寸法(mm)		寸法推定精度
	塗膜上	塗膜除去後	
目視検査	4.0	8.0	ばらつき大
磁粉探傷試験	(4.0)	2.0	適正(±1mm)
浸透探傷試験	(4.0)	8.0	過小評価
超音波探傷試験	5.0	5.0	過大評価
渦流探傷試験	5.0	5.0	不　可

３．鋼構造物の詳細調査③

（２）鋼床版における非破壊検査

・デッキプレートを貫通する疲労き裂は、目視による検出が不可能なこと、さらに鋼床版においてはその検査範囲が広いことから，鋼床版の効率的な点検および調査手法の検討が行われている．この検討では超音波探傷試験について，クリーピング探触子（90度縦波斜角探触子）と70度斜角探触子の適用性の確認試験が実施され，2つの探触子を用いた超音波探傷試験の手順ときずの評価方法が要領化されている．

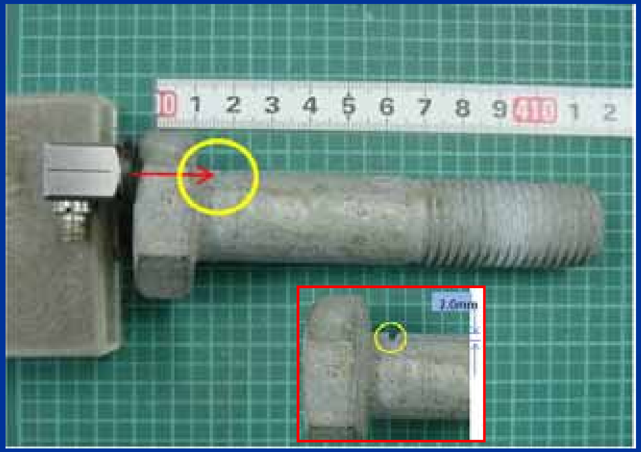


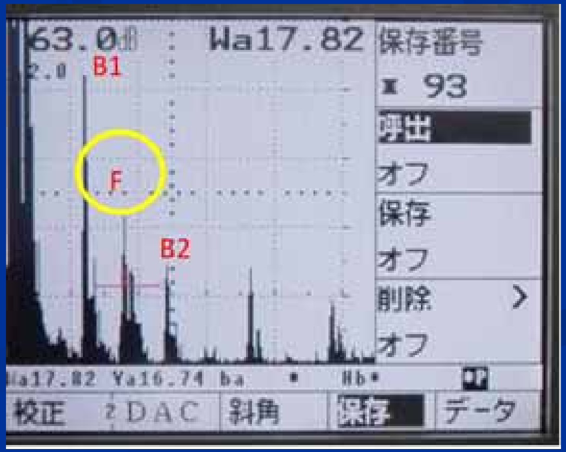
3．鋼構造物の詳細調査④

②高カボルトに対する非破壊検査技術

高力ボルトの遅れ破壊の非破壊検査方法

高力ボルトの頭部より垂直法で探傷し，きずからの反射エコーの有無で遅れ破壊の判定を行う．検査にあたって探傷感度の調整は，人工きずをつけた高力ボルトの対比試験片を用いて行われる．都市高速道路における高力ボルトの交換工事で実施された超音波探傷試験の結果では，遅れ破壊の生じている損傷ボルトの検出率は約86%と報告されている．超音波探傷試験による遅れ破壊の検査は，作業性については打音検査に劣るが，検査精度，信頼性，および実績から損傷ボルトの検出に適していると考えられる．





4．鋼構造物のモニタリング①

①モニタリング技術と長寿命化

構造物のモニタリングとして広く知られるようになった事例としては，本州四国連絡橋での橋梁モニタリングが挙げられる．かつてない長大橋梁の設計において，種々の設計上の前提条件を仮定して解析や設計が行われている．そのため，しゅん功後のモニタリングは地震時や暴風雨時の構造物の挙動を把握することを目的としたモニタリングだけではなく，当初の設計で想定した挙動が実際の構造物の現象として現れているかを検証するためのものでもあった．

その後，モニタリングを支える技術として，センシング技術の発展は，1990年代よりレーザーなどの計測装置や高度な非破壊検査法が継続的に発展し，今世紀に入りMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）センサ，ワイヤレスセンサの研究・開発が盛んに行なわれている．一方で，システム同定技術などそれを処理する技術の発展として，ビッグデータと呼ばれる大量のデータから異常等が検出できる状況が整えられるようになり，両者を合わせることで，対象構造物を遠隔でリアルタイムにモニタリングするシステムの実用化の目処が立ってきている．

鋼構造物の長寿命化を図るために，モニタリング技術を活用した実構造物の状況の把握，診断結果に基づく適時な対策及びその後の効果測定の実施は，非常に有効であると考えられることから，ここでは、モニタリングのいくつかの事例について長寿命化の観点から概説する．

4．鋼構造物のモニタリング②

1）大規模橋梁への適用例

①設計の「想定外」の動きを見つけ，維持管理に結びつる
（横浜ベイブリッジ）

実際に記録された地震時応答の分析結果から，桁端部において，エンドリンクが桁と固着してヒンジとして作動しないことが明らかとなったため，耐震補強の際，桁端部にフェールセーフ構造を設置したことが報告されている．

②維持管理の効率化

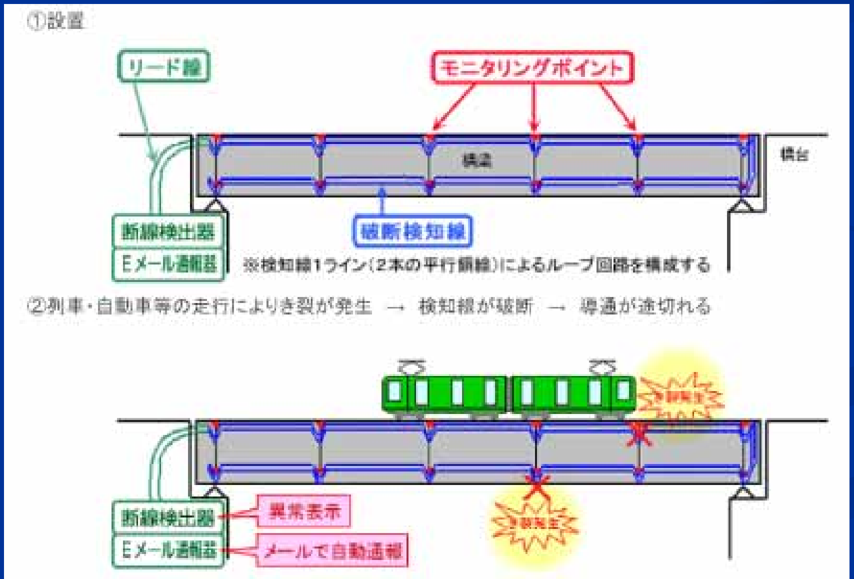
長大橋梁であることから近接目視点検を各部材に行なうことは長時間を要し，多額の費用が必要．設置したモニタリングシステムから得られたデータを有効活用することによって，日常点検及び定期点検の頻度や内容を定量的に変えるなど，修繕計画策定時にも活用できる。（東京ゲートブリッジ）

4．鋼構造物のモニタリング③

1）小規模橋梁への適用例

①鉄道橋における破断検知システム

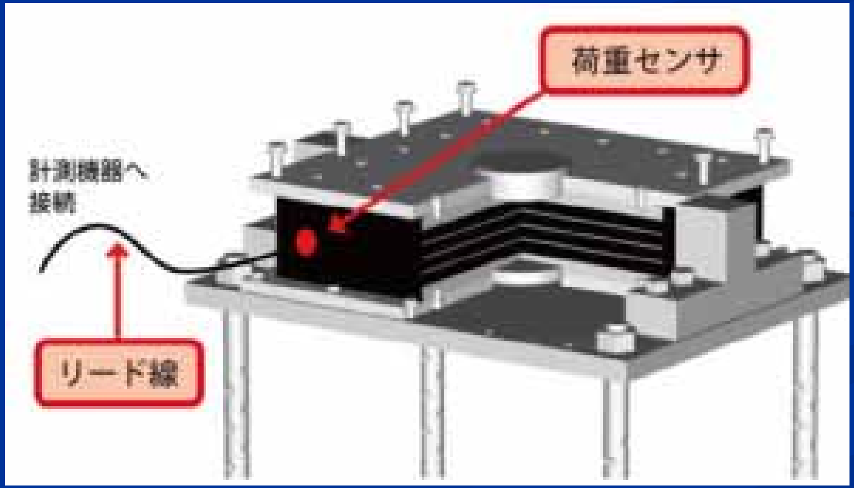
一筆書きの要領で配置した破断検知線が、破断により断線した場合，その情報を管理者に自動通報されるシステム．本鉄道橋は，8年に1回の頻度で塗装の塗替えを行なうこととしており，全面的な足場設置に合わせて詳細な詳細目視点検を実施するため，その間に起こりえる最悪な事態を想定したモニタリングであることが特徴的である．



4．鋼構造物のモニタリング④

②反力測定ゴム支承

圧力センサを内臓したゴム支承を設置。支承取替施工時の施工管理での活用のほか，供用後は，反力値の変化をモニタリングすることにより，支承部の沈下や伸縮装置の段差の発生の有無等の情報を早期に発見することが可能である．一連の路線の橋梁で全て設置されることで，長寿命化対策の有無等を判断できると考える．



4. 鋼構造物のモニタリング⑤

今後の課題と展望

センサやモニタリングの要素技術の進展とともに，システムとしての耐久性・冗長性の構築，取得データの後処理，コスト，中小規模の橋梁への展開等が考えられる.

モニタリングで実施される計測項目は，架橋環境，作用外力，構造挙動の3項目に分けて考えることができるが、鋼構造物の供用期間中、担保すべき諸性能に対して、モニタリングが有用な技術となるかの見極めが大切と考える。

５．鋼構造物の性能検証①

鋼構造物の長寿命化のための性能検証

・現在生じている損傷に対する耐荷力

・余寿命の予測

・補修・補強を行った場合の、対策効果の評価　など。

→鋼構造物の長寿命化の精度を高めることにつながる
。

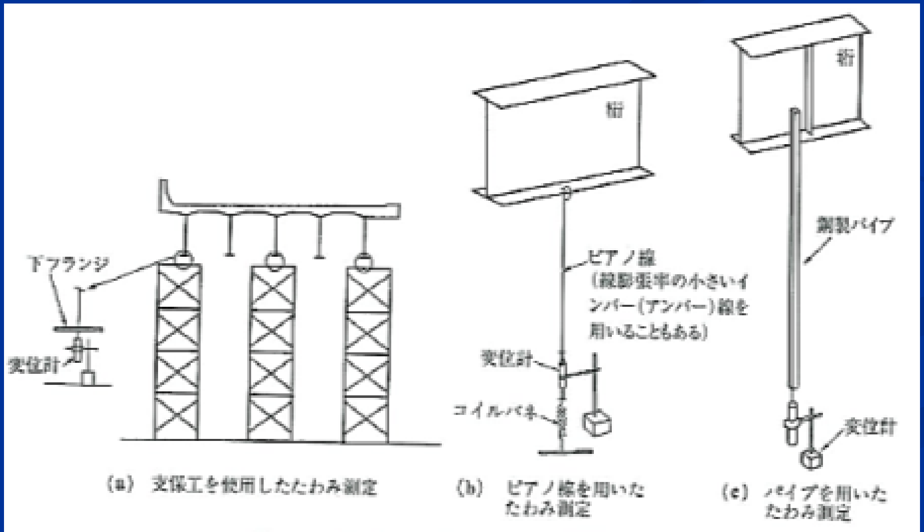
５．鋼構造物の性能検証②

性能検証のための計測

・たわみ計測

　腐食による広範囲な板厚減少、部材の破断等の著しい変状の発生を判別するのに用いる。

　接触式変位計、非接触型変位計のほか、加速度計を用いた測定などが挙げられる。



５．鋼構造物の性能検証③

・ひずみ計測

実構造の部材において発生している応力（死荷重を除く）を把握し、許容値と比較する。

設計計算上最大応力が生じている部位や，設計計算時に明確となっていない局部応力や応力集中が懸念される場所の応力を測定する。

補強の前後で測定することにより、補強効果の検証に対しても有効である.

５．鋼構造物の性能検証④

・振動計測

　部材の破断や腐食による断面欠損、支承部の損傷など、構造系全体に影響を及ぼす損傷の場合、固有振動数や減衰に変化が生じる。

　継続的な調査の実施に基づくなど、構造物の比較的大きな変化を捉えることに適している。

　斜張橋やニールセンローゼ橋などのケーブル系橋梁において、ケーブルの張力を振動法により測定行なうなど、張力部材の性能検証も可能である。

５．鋼構造物の性能検証⑤

性能検証の問題点

・設計と実挙動の乖離

　性能検証の比較は、設計計算上の性能が実際に現地で具現化できているかを比較することになる。このため、健全時の状態をどのように設定するかが問題となる。

　損傷・劣化による耐荷性能、使用性能の低下を確認するためには、建設当初の状態が測定されている必要がある。

・作用を考慮した鋼構造物の評価

　性能検証においては、損傷・劣化による抵抗側の評価のみでなく、作用側の影響を適切に評価する必要がある。

例えば、設計荷重と実荷重の乖離が大きい場合、実荷重の影響を正しく見積もることが出来れば、ベースで鋼構造物の評価を実施することも合理化できる可能性がある。

６．今後開発・実装化が期待される技術

（１）点検・調査技術
①点検困難部位の可視化技術
②鋼構造物表面の展開写真データの取得と分析技術
③塗膜下の腐食やき裂状況を検知する技術
④腐食ボルトの残存軸力の計測技術

（２）性能検証技術
①走行車両による構造物の振動計測システム
② ３次元カメラによる変形量の計測システム
③水平反力分散支承，免震支承の地震時性能の検証方法
④作用荷重の検出技術

など