

## 11. 維持管理部門

とりまとめ：芦塚憲一郎（西日本高速道路）

論文題目：“青森県日本海沿岸のRC橋梁において塩分浸透がひび割れと鉄筋腐食に及ぼす影響についての調査”

著者：藤田弘昭，津村浩三，山本昇  
掲載：Vol.53A, pp.666-673, 2007年3月

## ◆討議 [三上修一（北見工業大学）]

ひび割れ発生後にそこから浸透して塩分が増加することによる鉄筋腐食と、コンクリート表面から塩分が浸入して鉄筋が腐食することから発生するひび割れに関して、今回の点検データは区別していますか。

◆回答：今回のひび割れ点検は、経年的に追跡調査を実施していませんので、ひび割れ発生後の塩分増による鉄筋腐食か、表面から浸入して鉄筋腐食したものかのは判断できないため、データの区分は行っていません。

論文題目：“寒冷地における橋梁の劣化環境とRC床版の劣化予測に関する研究”

著者：竹田俊明，三上修一，大島俊之，鈴木広大  
掲載：Vol.53A, pp.674-685, 2007年3月

## ◆討議 [藤田弘昭（キタコン）]

劣化した床版の凍結防止剤による影響について、床版のコアを採取して分析したデータはどの程度ありますか。

◆回答：本研究においては、劣化した床版のコアを採取して凍結防止剤の影響などについての検討は実施していません。なお、本論文の参考文献(14)、(15)に、凍結防止剤による床版の劣化事例の記載があります。

論文題目：“通信用RC造マンホールの補強工法に関する実大検証実験”

著者：丹羽正徳，鈴木秀明，城田正美，外島義規  
掲載：Vol.53A, pp.686-695, 2007年3月

## ◆討議 [大西弘志（大阪大学）]

1. 本補強工法のCFRPプレートの定着についての考え方を説明してください。

2. 円弧形CFRPプレートの大きさ（サイズ）の決め方、ならびに補強材の有効性（補強効率や剛性への寄与率）について教えて下さい。

◆回答：1. CFRPプレートの定着については多くの研究があり、端部を固定することでピーリングなどの剥離を回避できることが確認されています。本工法もその知見を適用し、端部をレジコンクリートセグメントで固定する方

式としています。なお、別途実施した剥離試験で、本方式の剥離形態が母材剥離であることと、剥離強度が接着剤やCFRPプレートではなく母材の強度で決まることを確認しています。

2. 円弧形CFRPプレートのサイズは、マンホール開口部のサイズに合わせて3種類用意しました。補強性能はEAで決まるので、別途実施した上床版のみの載荷実験とそれに関する3次元弾塑性FEM解析の結果から幅100mm×厚さ3mm（ $A=300\text{ mm}^2$ ）としました。これは、概ね、開口部補強筋（円周筋）D10mmの3本分に相当します。

また、これによる剛性増加は、無補強の上床版に対して1.3倍であることを別途実施した載荷実験で確認しています。

論文題目：“Effect of ultraviolet irradiation on surface rubber used in bridge bearings”

著者：Yoshito Itoh, Haosheng Gu  
掲載：Vol.53A, pp.696-705, 2007年3月

## ◆討議 [大西弘志（大阪大学）]

In accelerated ultraviolet irradiation test, you apply pre-strain to specimens to simulate the effect of dead road with displacement control method. Would you show us the relation of the strain history of bearings? (Especially, I'd like to know the effect of variation of strains in rubbers.)

◆回答：The outer surface the rubber layer between steel plates will bloom outwards when the bearing subjected to the compressive dead and live loads. We used dentistry gum to mold and measure the shape of the rubber bearing's side surface. It was found that the maximum tensile strain can reach 40%, which was also proved by FEM simulation. Therefore, in order to simulate the real state of the rubber bearing in service, the specimens are stretched to 0%, 20% and 40% using a special rig. During the dew cycle test, the pre-strain were kept invariable, although heat might cause about 1% of expansion.

As for the effect of variations of strains in rubbers, this paper has described that the effect of pre-strain is different for different type of rubber materials, as shown in Fig.8.

論文題目：“鋼板プレストレス補強法を用いたH形鋼桁橋の高性能化”

著者：坂野昌弘，高橋宏和，並木宏徳  
掲載：Vol.53A, pp.706-717, 2007年3月

## ◆討議 [藤井堅（広島大学）]

1. 橋梁にプレストレスを導入して小断面化，少数主桁化を図る場合，剛性が小さくなり，たわみが増加し，たわみ制限を満たさなくなると予想されますが，これについての考えを教えてください。

2. 鋼板プレストレス導入において，高張力鋼をテンドンに使用すると，入熱時に材質が変化する危険性はありませんか。

◆回答：1. ご指摘のように剛性低下によりたわみが大きくなり，低桁高化では，論文中の p.714 の右段 7～10 行目に記述してあるように，「ただし，このとき，活荷重たわみは許容値の 2 cm (20<sup>2</sup>/20,000) より若干大きく 2.8 cm となる．たわみ制限を満たす場合には，H 形鋼のサイズは高さ 585 mm×300 mm (27%の低桁高化)」となりますが，長スパン化および少数主桁化ではたわみ制限の範囲内に収まります。

2. ここでは，論文中の p.711 の左段下 1 行目～右段 1 行目に記述してあるとおり，加熱温度を溶接時の予熱温度程度の 100℃に想定しておりますので，鋼材の材質変化に関してはご質問のような危険性はないと考えています。

論文題目：“支点状態を考慮した既設鋼板桁橋の簡易健全度評価に関する一考察”

著者：岩崎正二，出戸秀明，兼子清，宮本裕，上野大介  
掲載：Vol.53A, pp.727-738, 2007 年 3 月

◆討議 [金治英貞 (阪神高速道路管理技術センター)]

可動支承においても摩擦が生じる構造となっており，一定荷重までは固定状態となっています。このような場合，提案されています評価法の適用性はどの程度あるのでしょうか。

◆回答：本論文は，支点拘束を有するという既設鋼板桁橋の特長を生かし，支点近傍のひずみと実測固有振動数を用いて簡易的に健全度評価ができるかどうかを検討しています。その際，可動支点の拘束割合を支点拘束率  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) を導入することで評価していますが，本論文で取り上げた対象橋梁のように，橋脚が主桁の伸びや縮みに従って水平に動く場合には，可動支承が固定とみなせる場合 ( $\alpha = 1$ ) でも，支点拘束率  $\alpha$  は 1 ではなく見掛け上減少 (本論文の場合  $\alpha = 0.57$ ) します。実橋載荷試験時に下部工が上部工に影響を与えないという条件下なら， $\alpha = 1$  で評価可能と思われます。ただし，実橋載荷試験において可動支承が移動しない程度の荷重を載荷 (本論文の載荷重は，45tf 程度) させることが前提となります。

論文題目：“橋梁断面周辺の飛来塩分の推定に関する一検討”

著者：岩崎英治，長井正嗣

掲載：Vol.53A, pp.739-746, 2007 年 3 月

◆討議 [藤井堅 (広島大学)]

1. 重力を無視していますが，その影響はありませんか。

2. 通過量を付着塩分として評価されていますが，そこを通過した量は，次の場所へは伝わらないようになっているのですか (付着を考慮した塩分の連続式は満たされているのでしょうか)。

◆回答：1. 海面から空气中に飛散した塩分は，水滴や塵などに付着して飛来する場合や，塩分が結晶状になって飛来する場合などが考えられる。これらのなかで，比較的大きなものは重力の影響により早く沈降し，海岸線から離れた地点まで到達する飛来塩分は粒子が小さく，空气中を浮遊し，重力による沈降の影響はあまり受けていないものと考えられます。また，本論文では海岸で発生した飛来塩分が橋梁断面周辺まで飛来する状況のシミュレーションは対象としていません。橋梁付近の 1 地点で観測された飛来塩分量と橋梁断面周辺の飛来塩分量との関係を推定することを目的とし，比較的近い 2 地点間の飛来塩分量の関係の推定を行っていることから，飛来塩分の重力による沈降の影響は省略可能と考えます。

2. 図 11 は下フランジ先端からウェブに平行な直線上を通過する物質通過累積量を示しています。図 4 の鋼表面の付着塩分との傾向の比較は行っていますが，表面に付着する塩分はシミュレーションしていないため，ご質問のような塩分付着による塩分量の減少の効果は考慮していません。

論文題目：“老朽化 PC 管路の非破壊モニタリングに基づく漏水現象評価”

著者：鈴木哲也，大津政康，青木正雄，中村良太  
掲載：Vol.53A, pp.766-773, 2007 年 3 月

◆討議 [大屋誠 (松江工業高等専門学校)]

1. モニタリングされたデータには周期性があると思われませんが，その周期性は構造型式から判るのでしょうか。

2. 不規則外乱を取り除くためにフィルタリングや周波数特性による処理は実施されていますか。

◆回答：1. ご指摘の通り，データの周期性は存在します。データの周期性と構造型式の関係は，弾性波の影響因子が構造型式のみならず，配管内の流況や管材，埋設条件などがあり，計測値の構造型式による相違は予想されますが，現時点では明確な構造型式による相違は確認されていません。

2. フィルタリングは行なっています。特に、日本における配管施設の大部分が道路下に埋設されていることから車輛走行とシグナルとの区分を AE パラメータによりフィルタリングしています。

論文題目：“腐食した円筒殻の曲げ座屈耐力に関する実験的検討”

著者：藤井堅，中村秀治，近藤恒樹，橋本和朗，沖本浩見，中村剛裕

掲載： Vol.53A, pp.784-793, 2007 年 3 月

◆討議 [伊藤義人 (名古屋大学)]

1. どの部分が最も腐食していますか。コンクリートに埋め込まれた場合、そのすぐ上部がよく腐食するのですか。また、実際の構造物での、基部の境界条件はどのようになっているのですか。

2. 局部座屈ではなく、円周上に局部的に座屈し、破断してしまうような事例は実際にあるのですか。

◆回答：1. 実際の配電中では、通常、現地を掘り起こし、基部のセグメントを立て込んで埋め戻すことが多いようです。基部セグメントは、通常、亜鉛メッキの上にタールエポキシ樹脂塗装が施されているようですが、筆者らが観察した結果では、現場での設置時に生じた傷や塗装のはがれた箇所そして地際部付近において腐食が激しいように思われます。地際部の腐食の原因は、種々の埋め込み型の構造物と同様、湿潤状態が保持されやすいことと考えられます。

載荷実験では、風・地震荷重による水平力を想定して曲げ載荷を行いました。このとき、地際部の境界条件をどのように設定するかが問題となりました。そこで、土中に埋め込まれた地際部の条件に可能な限り近づけるために、コンクリートで底面周辺を覆うことといたしました。この条件が、地面に埋め込まれた実際の条件と異なるのは明らかですが、底面の溶接部に最大曲げモーメントが作用する条件よりもより実際に近いと考えます。なお、底面を固定した有限要素解析（このときの基部の残留応力は考慮していません）と比較しますと、水平変位は大きく異なります（実験よりも小さい）が、最高荷重はほぼ同じとなることを確かめております。

2. 実験での供試体は、半径  $R=200\text{mm}$ 、板厚は  $t=2\text{mm}$  程度以下、 $R/t>100$  ですが、提灯座屈形式は現れませんでした。これは、腐食して板厚が均一でないことも原因の一つと考えられます。もう少し、 $R/t$  が小さい場合には提灯座屈が発生するよう推測されます。

論文題目：“無線センサーネットワークの位置決めと時刻同期手法の開発”

著者：本多弘明，小国健二，井上純哉，堀宗朗

掲載： Vol.53A, pp.794-804, 2007 年 3 月

◆討議 [古屋信明 (防衛大学校)]

推定誤差と実際の距離のグラフにおいて、屋外ならびに屋内測定ともに、誤差が大きく（あるいは小さく）なる距離があるように見受けられます。何か理由があるのでしょうか。

◆回答：指摘を頂きました推定誤差と実際の距離のグラフでは、推定距離の標準偏差をセンサー間距離に対してプロットしています。このため、推定誤差の大小は推定距離のばらつき的大小に対応します。

この推定誤差を増大させる主な理由として、反射波の影響が挙げられます。スタッキングにより反射波を十分に除去できなかった場合、直達波と反射波両方の立ち上がり時刻に対応する位置に推定距離が分布し、標準偏差の値が大きくなったと考えられます。例えば、下図 1-(a),(b)は、実際の距離が 3.5m のケースの計測結果を表すヒストグラムですが、図 1-(a)では、365cm 付近に反射波の影響と見られる分布がある一方、図 1-(b)にはそのような分布はありません。その他の理由として、風速の変動による TOA の変動（屋外のみ）・反射波以外（例えば振幅の大きいノイズ）による TOA の誤同定などが挙げられます。

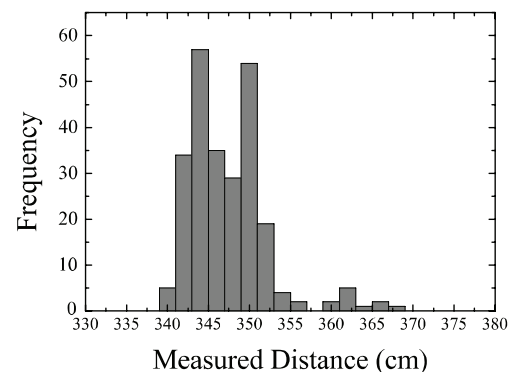


図 1-(a) 屋内・3.5m

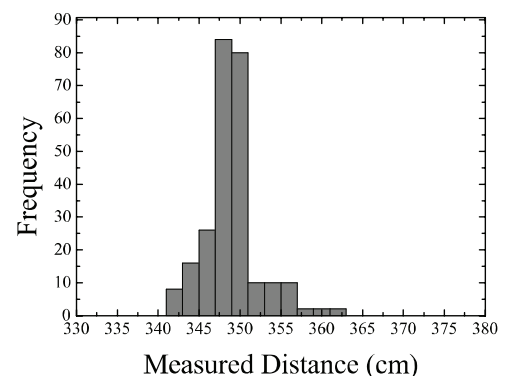


図 1-(b) 屋外・3.5m

論文題目：“島根県における既設耐候性鋼橋梁の腐食実態”

著者：松崎靖彦，大屋誠，安食正太，武邊勝道，麻生稔彦  
掲載： Vol.53A, pp.805-816, 2007年3月

◆討議 [古屋信明 (防衛大学校)]

橋ごとの腐食状況の違いを説明するパラメータとして，調査されている以外に，冬季の路面凍結防止剤散布に伴う塩分量もあると思われるが，考えを教えてください。

◆回答：ご指摘のとおり，耐候性鋼橋梁の腐食には凍結防止剤の塩化物イオンの影響を受けている可能性があります。

今回の調査橋梁では全ての橋梁で凍結防止剤が使用されていると推測できますが，個々の橋梁についてその使用量が特定できないため，説明パラメータとしては用いておりません。凍結防止剤の影響については付着物のイオン組成より検討を進めております。CaCl<sub>2</sub>を主成分とする場合にはその影響が評価可能と考えられますが，NaClを主成分とするものは海由来のものとの判別が困難と考えます。

論文題目：“3次元数値モデル作成のための腐食表面形状データの高精度統合手法”

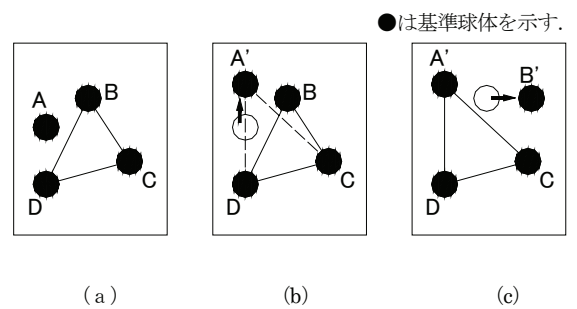
著者：後藤芳顕，藤原英之，百合野博光  
掲載： Vol.53A, pp.817-824, 2007年3月

◆討議 [古屋信明 (防衛大学校)]

実施例として，腐食鋼材から供試体を切り出し，データ統合に必要な鋼体をマグネットにて取り付けるといっていますが，このマグネット取り付けにより，被計測物の対象面をかくしてしまいますことにはならないですか。

◆回答：ご指摘のとおり，基準となる球体を被計測物に固定する箇所において，局部的に被計測対象面を隠してしまい計測できない範囲が生じることは考えられます。

この対処としては，被計測物の形状や必要とする計測ピッチなどを勘案して，基準となる球体の固定箇所や固定方法に工夫を加えることも考えられますが，汎用的な手法として，下図に示すように4個の基準球体を用いて，統合に用いる3つの基準点とそれ以外の1つの基準球体を順次入れ替えて計測することで，全域のデータ収集が可能となります。



図(a)の状態で計測後，図(b)のように基準球体AをA'位置にずらして計測し，基準球体B, C, Dを基準点として図(a)と図(b)の座標統合をおこなう。その後，図(c)のように基準球体BをB'位置にずらして計測し，基準球体A', C, Dを基準点として図(b)と図(c)の座標統合をおこなう。以降，同様に基準球体C, Dをずらして計測と座標統合を繰り返すことで，全域の表面座標を得ることができる。

図 基準球体で隠れる箇所の計測方法

論文題目：“熱流体解析による箱桁内の腐食環境シミュレーション”

著者：小畑誠，安田大樹，永田和寿，後藤芳顕  
掲載： Vol.53A, pp.834-843, 2007年3月

◆討議 [岩崎英治 (長岡技術科学大学)]

1. 結露を表現するために，水滴核を配置していますが，核の大きさが減少した時の数値計算上の扱い方について説明して下さい。

2. 結露核の配置数が少ない時には，個々の結露核の大きさが大きくなりすぎるように思います。結露の重力による流れへの適用の可能性について説明して下さい。

◆回答：1. 数値計算上は水滴核の大きさは初期の大きさよりも小さくならないようにしています。つまり最小値に達したときに壁面が完全に乾燥したものと見なしています。水滴核の導入は結露に伴う気相から液相への相変態を無理なく行うためのものですから，これは一貫性のある扱いであると考えます。

2. 重力による結露水の流れを考慮することは可能です。ご指摘のとおり，現実には水滴核の結合や結露水の流れも起こりうると思います。しかし，この論文ではそこまで定式化していませんし，解析例ではそこまで結露水が大きくなっていません。橋梁の腐食環境の解析において結露水の流れ落ちの重要性を勘案しつつ検討したいと思っています。

論文題目：“遠隔モニタリングによる鋼ランガー橋の固有振動数の推移観測”

著者：奥松俊博，岡林隆敏，田代大樹，要谷貴則，Jawaid Bashir Ahmad

掲載： Vol.53A, pp.844-852, 2007年3月

◆討議 [麻生稔彦 (山口大学)]

1. 振動数は、橋梁全体でしょうか、それとも部材の振動数なのでしょうか。

2. 損傷による振動数変化は判断できるのでしょうか。

3. 橋梁の常時微動を遠隔からモニタリングするシステムの開発は有意義と思われれます。しかしながら、今回の加速度計が、横桁と縦桁の接合部に置かれているため、交通荷重による局所的な振動を拾いやすいこと、またスパンが153mもあるランガー橋を高次振動させるためにはかなりのエネルギーが必要であろうと思われることから、3 Hz, 5 Hz 付近で検出された固有振動が、橋全体系での4次、6次モードであると推定するには、もう少し検討が必要ではないでしょうか。

◆回答：1. 振動数は、橋梁全体系のものです。

2. 損傷に伴い構造系全体の剛性が低下するため、理論的には振動数も変化（低下）することになります。これまで微小損傷に伴う振動数変化を自動検出するシステムを実現し、これを室内実験で確認しました（本論文の参考文献12）参照。実構造物では、卓越振動数がある帯域をもって変動するためにシステム上、改善すべき課題があると思われれますが、比較的長期のモニタリングおよび統計処理を施すことにより振動数変化（損傷発生）を検出することは可能と考えています。ただし、そのためには、橋梁環境（温湿度等）の季節変動に伴う振動数変化も予め把握しておくことが肝要と思われれます。

3. 本論文で示した3 Hz および5 Hz 付近の検出振動数には、1 Hz 付近の振動数に比べてばらつきがありますが、過去に実施した衝撃加振実験結果と照査し、それが4次、6次モードに相当するとしました。本論文では振動数測定結果に基づく振動モードを提示していないため説得力に欠けますが、多点計測より振動モードを示す等今後検討したいと思います。センサーは横桁付近に設置しておりますが、当該位置付近の舗装部はジョイントがないため、また舗装状況も良好であるため、走行車両に起因する局部振動を検知する可能性は低いと判断しました。上記のとおり、振動モードと検出振動数の相関を具体的に示した上で、走行車両による影響について検討していきたいと思っています。