

## 10. 維持管理部門

とりまとめ：井ヶ瀬良則（西日本高速道路株式会社）

論文題目：“塩分捕集器具の設置方向と飛来塩分の関係”

うか。

著者：岩崎英治，小島靖弘，高津惣太，長井正嗣

掲載：Vol.56A, pp.616-629, 2010年3月

◆討議 [井ヶ瀬良則（西日本高速道路株式会社）]

塩分捕集器具として土研法とドライガーゼ法により観測し、それぞれの特徴を明らかにされていますが、実際の構造物で観測する場合には、どちらの方法で、どのような観測方法で行うのが良いでしょうか。

◆回答：すでに建設されている構造物周りの飛来塩分の観測を行う上での捕集器具の選択と観測方法に関するご討議と思います。本論文での塩分捕集は、構造物の建設前に、その地点の飛来塩分環境を把握するために行う塩分捕集器具の設置方向の影響を明らかにし、塩分観測と併せて風向風速の観測を行うことで、多方向からの飛来塩分の推定方法について検討していますので、ご討議の内容とは、必ずしも一致していませんが、建設前に構造物周辺の飛来塩分を評価する場合と、すでに建設されている構造物の周辺の飛来塩分を観測する場合のそれぞれについて、回答します。

構造物周辺の飛来塩分は、構造物により風の流れが乱されているために、構造物を建設前に観測した飛来塩分とは必ずしも一致しません。したがって、構造物を建設するまえに、構造物周辺の飛来塩分を評価するためには、構造物周辺の風の流れも併せて評価する必要があります。

すでに建設されている構造物の周辺の飛来塩分を観測するのであれば、構造物周辺に並行にドライガーゼ式の捕集器具を設置するか、あるいは、土研式の捕集器具の捕集面を構造物に並行になるように設置することが考えられます。

いずれの場合でも、土研式とドライガーゼ法では捕集原理が異なりますので、それぞれの捕集方法による飛来塩分と構造物の腐食量など耐久性に直接影響を与える因子との関係が明確になっている必要があります。

論文題目：“FRP ケーブルの埋め込み緊張補強技術の確立”

著者：呉 智深，岩下健太郎，孫 暁荷，小林 朗

掲載：Vol.56A, pp.630-643, 2010年3月

◆討議 [石川敏之（京都大学）]

補強材はコンクリートに埋め込まれますが、劣化したコンクリートに対しても補強材の引き抜き強度は確保されるのでしょ

◆回答：コンクリートの劣化により、圧縮強度が低下した場合には、引き抜き強度と密接に関係するため、コア抜き等で圧縮強度を検討した上で補強を検討することで、想定される引き抜き強度を確保できると考えます。

本研究で実施した引き抜き試験ではコンクリートの圧縮強度を考慮していない限定的なものであり、今後の検討課題したいと思います。

◆討議 [大西弘志（大阪大学）]

1. 外ケーブル補強など既存の工法との違いは何でしょうか。
2. ケーブル埋込部に発生するかもしれないピーリング力に対する抵抗性は調べないのでしょうか。
3. 本工法の対象範囲は何でしょうか。
4. 本工法を適用した後にケーブルがずれる等の不具合があった場合の検査手法はあるのでしょうか。

◆回答：1. 本開発技術は、外ケーブル補強のケーブルの付着を確保したものであり、ひび割れ発生荷重やひび割れ抑制といった使用性に対する補強効果の向上を図ったものです。また、コンクリートの内部に補強材を埋め込むことにより、緊張・補強材の直接的な損傷を防止することも目的の一つとしています。

2. 本研究は、通常の使用状態での補強効果に関する限定的な研究のため、単純せん断のみに限定して検討を行いました。今後、より範囲を広げた検討を行っていきたいと思います。

3. RC橋桁等への補強の他、PC構造物に導入したプレストレスの再導入などにも使用できると考えます。

4. ケーブルと埋め込み材間の付着強さは埋め込み材とコンクリート間のそれに比べてかなり強いいため、ケーブルは埋め込み材ごと剥離すると考えられます。剥離の直接的な検知方法としては、かぶり補強材の上からの打音検査が、間接的な方法としては、光ファイバのような線的なセンサを事前にケーブル付近およびコンクリート表面に設置しておき、ひずみの格差を測定する等の方法が考えられます。

◆討議 [井ヶ瀬良則（西日本高速道路株式会社）]

補強材が抜けるとひび割れで確認できるとの説明がありましたが、かぶり補強材があっても確認できるのでしょうか。

◆回答：かぶり補強材の厚みにもよりますが、補強材の剥離とともに、かぶり補強材にもひび割れやふくれが生じ、簡単な打音検査でも剥離が確認できる状況でした。ただし、完全

に剥離するまでの途中の状況は確認できませんでした。

今回のシンポジウムでは、補強後の点検、診断も見据えた補強技術の開発に関する研究がいくつもあり、補強状況の可視化の重要性を再認識しました。今後、本開発技術の可視化に関する改良を進めていきたいと考えています。

論文題目：“水中施工の可能な FRP を用いた港湾鋼構造物の補強実験”

著者：立石晶洋，横田弘，岩波光保，加藤絵万，小林朗，戴建国

掲載：Vol.56A, pp.644-655, 2010年3月

◆討議 [藤井堅 (広島大学)]

論文集の図-12において、腐食部のひずみが CFRP 接着後も高いためにもとの状態まで回復できないとのことでしたが、接着区間が十分長ければ、腐食部と CFRP 部のひずみは同じになるのではないのでしょうか。従って、十分な接着長（もちろん断面積も）があれば、回復率=1となるのではないのでしょうか。

◆回答：腐食部中央の鋼材ひずみと CFRP 部のひずみが等しくならなかった現象が見られました。4 節の解析結果でみると、腐食部から一定距離離れた位置では鋼材と CFRP の伸び量は同一となっており、腐食部中央で鋼材ひずみと CFRP のひずみが同一にならない場合もあると考えております。影響因子は、腐食の形状（深さや範囲、応力集中の程度）、CFRP と樹脂の厚さ、補強量、弾性係数と考えております。

◆討議 [石川敏之 (京都大学)]

補修設計する際、補強効率を1以上にする必要はないのでしょうか。また、補修する構造物ごとに実験をしないと補強効率がわからないのでしょうか。

◆回答：補強設計では、構造物の回復させたい性能まで補強することが重要で、必ずしも補強効率が1である必要はないと考えます。補強効率に与える因子は、実験結果から腐食形状、腐食量が影響すると考えます。腐食形状や腐食量と補強効率の関係を明らかにしていく必要があると考えております。

◆討議 [中村聖三 (長崎大学)]

1. 実構造物の大きさ、施工範囲を考慮したとき、本工法の水  
中での施工に問題はないのでしょうか。（十分な品質管理が可能  
でしょうか？）
2. 用いる材料等の海中における長期耐久性は確認されている  
のでしょうか。（補修・補強効果は長期間保たれるのでしょうか？）

◆回答：

1. 本工法で採用している水中硬化形エポキシ樹脂は、水中施  
工形被覆工法として実績のある樹脂を使用しました。樹脂の使用  
に関しては、可使時間などの制限はありますが、品質管理は  
CFRP の施工も入れた場合でも行えると考えます。
2. 促進暴露試験、暴露試験などで腐食の進行および接着性の  
確認を実施しております。

◆討議 [北根安雄 (名古屋大学)]

今回の実験供試体で接着長はどのように決定したのでしょうか。

◆回答：節の腐食の無い鋼板の引張試験（B1供試体）において  
接着長を250mmとした場合、鋼板中央部のCFRPのひずみと鋼  
材のひずみが一致したことから、3節の曲げ供試体の定着長は2  
50mmとしました。

論文題目：“RC ラーメン高架橋鉛直加速度低減のための基礎補強試験施工の評価”

著者：東基行，森川昌司，長谷川昌明，松田猛，荒鹿忠義，関  
雅樹

掲載：Vol.56A, pp.656-664, 2010年3月

◆討議 [中村聖三 (長崎大学)]

今回の試験施工結果を今後の補強設計にどのように活用して  
いくのでしょうか。（特に地中梁や増杭の断面決定法に対して）

◆回答：

- ・今回の試験施工結果より、増杭および地中梁による高架橋基  
礎補強は、梁ハンチ部の応力低減、構造物等の鉛直加速度低減  
に一定の効果があることが確認できました。これは、主に基礎  
補強により高架橋基礎の鉛直ばねが向上したことによると考  
えられます。
- ・また、基礎鉛直ばねに関する簡易な解析を実施し、保守用車  
載荷試験結果と概ね一致しました。
- ・同解析に用いたパラメータのうち、増杭の要素（杭径・杭種）、  
地中梁の要素（断面）についてパラメータスタディを実施し、  
より効果的な補強仕様の検討に活用していきます。

◆討議 [大西弘志 (大阪大学)]

1. 支持地盤内の軟弱層の厚さの影響について
  - ・本工法の効果
  - ・施工の難易もしくは工夫の必要性はどう考えるべきでしょうか。
2. 振動加速度レベルが0～マイナスというのは許容しても良

いのでしょうか。(図-16) (ターゲットにしている周波数帯についても示していただけませんか)

◆回答：1. ・今回実施した試験施工は、既設基礎を増杭と地中梁により接続することで、高架橋基礎の鉛直ばねを向上させるものです。

・今回の試験施工箇所では、既設基礎の杭長以深で軟弱層が厚いことも影響し、既設基礎の鉛直ばねが小さかったと考えられます。軟弱層の厚さだけが、基礎鉛直ばねが小さい原因ではないと考えますが(既設基礎の杭長・杭本数等によっても影響を受ける)、軟弱地盤等に起因する場合も含め基礎鉛直ばねが小さい高架橋においては、基礎補強は基礎鉛直ばねを向上させる有効な方法と考えます。

・施工の難易については、良好な地盤に比べ、軟弱地盤は近接工事実施時の既設高架橋への影響がより懸念されます。地盤に適した杭種の選択等が特に重要であると考えます。

2. ・測定データにばらつきが大きいことも考慮し、0～マイナスについては、マイナス幅も小さいことから特に課題と考えていません。

・また、ターゲットとしては低周波領域が重要と考えています(構造物応力に影響を与えるのは変位であり、変位に影響が大きいのは加速度で考えると低周波であるため)。

論文題目：“AE法を用いたオープン型パイプラインに発生する気液二層流の特性評価”

著者：鈴木哲也，中達雄，樽屋啓之，田中良和，青木正雄  
掲載：Vol.56A, pp.665-670, 2010年3月

◆討議 [井ヶ瀬良則 (西日本高速道路株式会社)]

1. この方法では、異常の発生箇所まで特定できるのでしょうか
2. 異常が発生した場合はどのような対応が必要でしょうか。

◆回答：

1. 異常の発生箇所の特定は可能です。弾性波の伝播特性を考慮することにより位置や規模等を同定できます。

2. 通常、気液二相流が発生しているパイプラインでは異常振動や漏水などシステムの不具合が発生しています。このような場合、システム内を空虚な状態にし補修工後に充水を実施します。一般的に充水過程が最もパイプラインの安全性能を低下させます。このことから、本論で用いたAE法などのモニタリング技術の有効性が各地で確認されています。

◆討議 [大西弘志 (大阪大学)]

パイプラインの素材の違いによる取得データの変化にはどのようなものが考えられ、評価に与える影響にはどのようなもの

があるのでしょうか。

◆回答：パイプラインは、鋼材やコンクリート、FRPMなど様々な素材が用いられ供用条件や設置環境に対応した設計・施工が進められています。本研究で用いたAE法によるパイプライン水理現象の同定は、管材の材質の影響を強く受けます。特に、水理現象起源弾性波の伝播特性へ及ぼす影響が大きく、検出波の減衰や周波数特性の変質により評価値に影響を与えることが明らかになっています。

論文題目：“無線センサネットワークによる鋼橋部材の疲労損傷原因特定の試み”

著者：三木千壽，山口浩，判治剛，田辺篤史  
掲載：Vol.56A, pp.671-679, 2010年3月

◆討議 [中村聖三 (長崎大学)]

加速度データから変位を推定する手法の信頼性を検証しないと本手法を変位誘起型疲労損傷原因の特定につなげることは困難ではないでしょうか。

◆回答：本研究では、加速度データを3次元的に可視化することにより疲労損傷原因の特定を試みました。その結果、疲労損傷の原因の概略を捉えることができたと考えております。またご指摘の通り、本研究のさらなる展開のためには加速度から変位を推定する手法も必要になると考えます。そのことは著者らも認識しており、すでに加速度データから変位を推定するアルゴリズムを構築し、現在、その精度の検証を行っている段階です。この点に関しましては、今後の論文等にて報告させていただく予定です。

◆討議 [坂野昌弘 (関西大学)]

図-5で、対象とする疲労損傷をトラス主構と検査路との間の挙動のずれ(相対変位)と述べられていますが、主構と床組の相対変位のケースとは異なり、検査路の場合は検査路の方で変位を調整できるのではないのでしょうか。(例えば検査路を不連続にする等)

◆回答：本研究にて対象とした疲労損傷を防止するためには、トラス主構造と検査路の挙動のずれを小さくする必要があります。そのための方法として本研究では検査路と腕材を切り離すことを提案しましたが、ご指摘の方法も一案として考えられます。補修補強対策の効果は解析等にて確認する必要があります。一概にどれが良いとは断言できませんが、提案した計測手法により損傷発生原因を特定できたことが補強対策を選定するための一助になっているといえます。

◆討議 [石川敏之 (京都大学)]

本システムを利用して、長期間の計測で疲労き裂の発生や進展へ適用できるのでしょうか。

◆回答：電源の供給方法を改良すれば本システムを長期間モニタリングに適用することは可能です。しかしながら、軽微な疲労損傷の発生により橋梁の部材レベルの振動特性が大幅に変化するとは考えにくく、微小き裂の発生の特定に本デバイスのような加速度センサは適用しにくいと考えております。

論文題目：“局部損傷を受けた鋼・コンクリート合成床版の部分打換え後の疲労耐久性評価に関する実験的検討”

著者：櫻井信彰，中山逸人，古市亨，松井繁之  
掲載：Vol.56A, pp.680-686, 2010年3月

◆討議 [中村聖三 (長崎大学)]

走行回数－変位関係が、床版打換え後に右上がりの傾向がある（剛性が低下している）ように見えますが、その原因は何でしょうか。

それに対して、底床版のひずみにはそのような傾向が見られないのはなぜでしょうか。

◆回答：走行回数－変位については、走行試験途中に計測した動的変位を荷重換算しているのではなく、目標走行終了後、荷重を157kNにして静的載荷しております。また、その変位はこの実験体全体の版の平均剛性によるものです。つまり、まず底鋼板が剥離する、荷重増加（157→186→216kN）に伴い曲げひび割れが、コンクリート引張側が生ずるなどの剛性低下が起きることで、徐々に剛性が低下していきます。これは土研における輪荷重走行試験などの結果でもそうだと思います。

したがって、打換え前においても、初回走行時の弾性変位（載荷時変位－残留変位）が0.6mmであったものが最終的には0.8mm程度になります。それでは、打換え後はどうかということですが、少なくとも全厚打換えした範囲は、初回走行時のように戻っているので、その分同様に若干剛性低下するため、再開初回の弾性変位0.8mm程度が、1.0mm程度になったものと思います。

原因の推定としては以上の通りですが、絶対量として0.2mmという数字は、床版支間2,500mmの1/1,000程度でもありますので剛性に変化はないと見てよろしいかと考えます。

ひずみについてはp.681の図4に示す通り、実験体中央の打換えを行わない個所の底鋼板ひずみでありますので、全体の剛性変化がわずかでするので影響が出ないのだと思います。したがって、打換えを行った個所でひずみを測定しておれば、荷重－変位曲線同様の変化は現れたものと思います。

◆討議 [大西弘志 (大阪大学)]

既存床版と打換え床版部のコンクリートの初期状態が異なる部分についてはどのように考えればよいのでしょうか。

◆回答：ご質問は、床版打換えに伴う新旧コンクリートの初期応力状態が異なるのではないかということであろうと思えます。その上で、回答いたします。

ご指摘の通り、交通止めに伴い活荷重分の負曲げに相当するジャッキアップを減じてそのままコンクリートを打換えすることで、後死荷重分の応力（橋軸方向応力）は打換えの際に存置された周りのコンクリートが負担し、打換えコンクリートは負担しません。また、打換え分の死荷重に相当する応力（主に橋軸直角（床版支間）方向応力）も打換えの際に存置された周りのコンクリートが負担します。

今回は、その影響は少ないだろうということと、疲労実験において応力比（平均応力）の影響は少ないだろうということで、何ら対策を行っておりません。

実際の橋梁においても、部分打換え範囲が十分狭い場合は同様ですが、広範囲に及ぶ場合は、これらの既設床版に発生している応力についての検討が必要かと思えます。

論文題目：“Long-term performance of rubber bearing considering solar radiation effect”

著者：Paramashanti, Yasuo Kitane, Yoshito Itoh  
掲載：Vol.56A, pp.687-700, 2010年3月

◆討議 [大西弘志 (大阪大学)]

実験時と現場計測時とでは周辺環境の違いにより熱の出入りが異なってくると思われますが、その点をどのように取り扱えば良いのでしょうか。

◆回答：In contrast to the actual conditions in the field, there is no heat transfer at the top and bottom of the bearing due to the use of insulation in the measurement. Because this study aims to investigate the influence of solar radiation on the temperatures of bearing, the use of insulation is to simplify the model so that only consider the heat from solar radiation and ambient temperature. Results from measurements will be used to verify the heat transfer model analysis so that we can understand how to apply solar radiation in a model. With sufficient understanding of how to apply the solar radiation on an exposed bearing, the developed model can be used to analyze the bearing by considering boundary condition as in the real bridge.

論文題目：“約 50 年間供用された床版目地を有する連続非合成鋼 I 桁橋の損傷状況と現地載荷試験”

著者：村越潤，梁取直樹，澤田守，前田和裕，西弘明，三田村浩

掲載：Vol.56A, pp.710-721, 2010 年 3 月

◆討議 [大西弘志 (大阪大学)]

床版目地のモデル化は具体的にどのような方法でしょうか。(特にバネ定数の決定方法など)

◆回答：FEM モデルでは、床版をシェル要素とし、床版目地部は、床版間に 10mm の隙間を設けてモデル化しています。床版と鋼桁間のスラブアンカーを水平せん断バネでモデル化していますが、各節点に与えるバネ定数は、単位長さあたりで均一な水平せん断力となるように節点間隔に合わせて設定しています。バネ定数の決定方法については、既往のスラブアンカーの水平せん断試験結果を参考に、コンクリートの付着がなく同一径のスラブアンカーで拘束されている状態(死荷重相当の拘束力を考慮)のせん断バネ定数( $3.75 \times 10^3 \text{ kN/m}$ )を基本値として、これをオーダー単位で変化させ、載荷試験で計測された床版と鋼桁の相対変位と比較しています。

◆討議 [藤井堅 (広島大学)]

解析的な検討の中で、剛梁要素の上端と床版の中立軸をつなぐバネとして、スラブアンカーの効果を評価されていますが、床版の曲げによる回転角を考慮して床版下面の変位と桁上フランジの変位の相対変位をつなぐバネとして扱う必要はないでしょうか。

◆回答：載荷試験における床版と鋼桁の相対変位の計測位置は床版下面と上フランジ間ですが、本文中の解析モデルでは、床版中立軸位置で水平せん断バネを設けています。水平せん断バネの設定位置が異なるため、ご指摘のように床版の曲げによる回転角を考慮することが望ましいと考えられますが、今回の解析では、その影響は小さいものと考えました。影響の定量的な把握については、今後、検討していきたいと考えております。

論文題目：“鋼道路橋の腐食した桁端の耐力特性とその設計法に関する 2, 3 の考察”

著者：臼倉誠・金銅晃久・山口隆司・畠中彬・三ツ木幸子・橋本国太郎・杉浦邦征

掲載：Vol.56A, pp.722-732, 2010 年 3 月

◆討議 [判治剛 (東京工業大学)]

厳しい腐食環境下では、支承が固着し回転機能が失われている状況が多いかと思われます。回転が拘束された場合はどのような結果になると考えられますか。

◆回答：本研究では、下フランジより下の部分が健全な場合を設定して、ウェブの欠損に着目して検討を行いました。ご指摘のとおり、腐食下では、支承の回転が拘束されることが考えられます。本研究は、現行の示方書ではウェブの腐食による残存耐力を適切に評価できない場合があることを示すことが目的であり、現段階では行っていません。次のステップでは、支承の回転拘束の影響などを検討していく予定です。

対象ケースについて解析を行っていない段階ですが、下フランジに橋軸方向の応力が生じ、増大することが考えられますが、鉛直方向の面内圧縮応力の局部座屈にはそれほど顕著な影響はないことが考えられます。

また、回転が拘束されると、ソールプレート全面から亀裂が発生することはよく知られていることですが、亀裂が発生した場合の問題は、別途考える必要があると考えています。本検討では、ウェブ欠損の大きさとしてソールプレートの境界の前後を設定して、その影響を見ましたが、鉛直荷重に対する静的耐力には、あまり影響しないという結果が得られています。

◆討議 [中島章典 (宇都宮大学)]

この研究の目的は、桁端の設計の考え方を変えれば、桁端が腐食しても良いということということを説明しようとしているのでしょうか。

◆回答：そうではありません。

本研究は、例えば、鋼桁の下端部の腐食損傷を発見した場合の交通規制実施の有無の検討などにおいて、技術者の判断材料となることを期待しています。そのため、健全時との耐力比較を述べるとともに道路橋示方書を参照しながら適切な耐力評価方法について議論しています。

さらに、補修設計において、主として新設橋梁の設計を対象とした道路橋示方書を、そのまま適用するのではなく、補修設計に適した基準の整備が必要であることを、限定された事例ではありますが解析を行い、桁端の耐力評価を行うことにより示したものです。

論文題目：“部分係数を用いた海洋環境下にある RC 構造物の耐久信頼性設計”

著者：松崎裕・秋山充良・鈴木基行

掲載：Vol.56A, pp.733-741, 2010 年 3 月

◆討議 [大西弘志 (大阪大学)]

集めたデータには種々の条件に伴う偏りが含まれると思われ

ますが、その取扱いはどのようにすれば良いでしょうか。

◆回答：ご指摘のように、信頼性評価に用いる各種統計量の元となるデータは、様々な実験手法あるいは実験条件で得られたものであり、特にデータ数が不十分な場合には、偏りの影響が懸念されます。本研究では、実験手法の違いが統計量に及ぼす影響を排除するために、電食実験よりも乾湿繰返実験により得られた鉄筋腐食データを重視するなど、実環境に近い条件で実施された実験結果を既往の文献より広く収集しております。ただし、現状、海洋環境下にあるコンクリート構造物の耐久信頼性評価に用いる確率変数の中には、十分な実験事実に基づいてその統計量や確率分布形を定めることが困難な変数も含まれております。これらの統計量の改善は、今後の重要な課題です。

◆討議 [Xiao CHEN (名古屋大学)]

1. When predicting corrosion rate of steel rebar, are concrete material properties considered, such as additions, fly ash and water reducer? Because material properties of concrete will have great effect on steel rebars.
2. When calculating reliability index, how to consider model error?

◆回答：

1. Al-Almoudi et al.<sup>1)</sup> reported that corrosion rate of steel depends on cement type based on their experimental results. Meanwhile, Mori and Ellingwood<sup>2)</sup>, and Frangopol et al.<sup>3)</sup> assumed in their analysis that the corrosion rate is independent of material properties. Previous studies have shown very wide scattering on the corrosion rate of steel bars. Based on the survey of marine RC structures, constant corrosion rate is used, independent of material properties. Further research is needed to investigate the effect of concrete material properties and crack width on corrosion rate of steel.

#### References

- 1) Al-Amoudi, O. S. B, Rasheeduzzafar, Maslehuddin, M. and Al-Mana, A. I.: Prediction of long-term corrosion resistance of plain and blended cement concretes, *ACI Material Journal*, Vol. 90, No. 6, pp. 564-570, 1993.
  - 2) Mori, Y., Ellingwood, B. R.: Maintaining reliability of concrete structures II: optimum inspection/repair, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 120, No. 3, pp. 846-862, 1994.
  - 3) Frangopol, D. M., Lin, K.-Y. and Estes, A. C.: Reliability of reinforced concrete girders under corrosion attack, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 3, pp. 286-297, 1997.
2. In the estimation of reliability, the model uncertainties associated with estimation of the amount of airborne chloride by attenuation law, chloride concentration using Fick's law, and so on were taken into consideration. The PDFs of these random variables were determined by comparing experimental results and predicted values.

論文題目：“Mechanical properties of fillet weld joints by underwater wet welding in repairing corrosion-damaged offshore steel structures”

著者：Xiao Chen, Yasuo Kitane, Yoshito Itoh

掲載：Vol.56A, pp.742-755, 2010年3月

◆討議 [藤井堅 (広島大学)]

気中と水中溶接において、Transverse と longitudinal を比較すると溶接の差の影響度は longitudinal が大きいのはなぜでしょうか。

◆回答：Larger changes of weld strength and ductility in longitudinal welds, as shown in Fig. 10, were found to be caused by larger changes in weld hardness of longitudinal welds than those of transverse welds when welding environment changes. However, the peak hardness of underwater welds was found to be the same for both transverse welds and longitudinal welds although they had different heat input. This is because in underwater welding, the difference in heat input was not as influential as in in-air welding due to the surrounding water acting as a huge heat sink. On the other hand, the peak hardness of in-air welds was larger in transverse welds than in longitudinal welds, which was caused by a smaller heat input for transverse welds.

As a result, the changes in weld hardness of longitudinal welds due to underwater environments turned out to be larger than those of transverse welds, resulting in larger changes of weld strength and ductility in longitudinal welds.

◆討議 [中村聖三 (長崎大学)]

水中溶接の場合、気中と比べて強度が上昇し変形性能が低下する理由は何でしょうか。

◆回答：The main reason for underwater welds to have a larger strength and a smaller ductility is material properties of welds caused by rapid cooling in underwater. The rapid cooling of welding metals would generate martensite microstructures which have a large strength but a small ductility. Moreover, underbead cracks at the boundary of weld metal and heat affected zone (HAZ) are also found to contribute to the low ductility of underwater welds in this study.

論文題目：“腐食損傷を受けたリベット継手の力学的挙動に関する検討”

著者：橋本国太郎, 山口隆司, 三ツ木幸子, 杉浦邦征

掲載：Vol.56A, pp.756-765, 2010年3月

◆討議 [北根安雄 (名古屋大学)]

解析において摩擦係数を変化させても、荷重 - 変形関係に大きな変化が見られませんが、その原因はどこにあるのでしょうか。荷重を加えると始めからプレート間に隙間ができるのでしょうか。

◆回答：本論文の解析において、リベットには軸力を導入しておらず、初期状態から、継手面には接触力（摩擦力）がほとんど入っていなかったため、摩擦係数を変化させても、摩擦力による抵抗がほとんど変化しないことから、荷重-変位関係においても大きな変化が見られなかったと考えられます。また、荷重を加え始めた初期の弾性状態では、板同士はほとんど隙間なく（接触力はほとんどない状態）変位していると思われませんが、降伏後、板が面外変形すると、板同士が離れるような方向に変位し、板同士の隙間が大きくなると考えられます。

論文題目：“ルートを起点に発生進展するき裂に着目した既設鋼床版の応力解析”

著者：高田佳彦，田畑晶子，橋本国太郎，杉浦邦征，山口隆司  
掲載：Vol.56A, pp.766-778, 2010年3月

◆討議 [半治剛 (東京工業大学)]

今回の解析では引張応力に着目されていますが、なぜ引張のみに着目されたのでしょうか。通常、疲労では応力の変動範囲が問題になるのではないかと考えます。

◆回答：本解析では、既設鋼床版に対して載荷位置をパラメトリックに変化させて載荷位置に起因する応力の変化（応力値）に着目しています。その結果、本文で述べていますが、支間部の縦溶接部の応力は、輪重の直上載荷による、デッキがUリブウェブ間を支点として局所的な曲げ変形による影響線長の短い圧縮応力と、車両載荷に起因するデッキのたわみ変形を、Uリブが変形抵抗することで誘起される比較的 영향線長の長い引張応力、との足し合せにより発生していると考えられ、それらの応力値や応力範囲を算出しています。したがって、引張のみに着目したわけではありません。

ただ、引張応力の発生するメカニズムとその値は、本解析の重要なテーマのひとつです。このデッキのたわみ変形に起因するルート部の引張応力は、変動範囲が大きいことから、これらの累積はき裂の発生に影響を与えていることは明白です。加えて、き裂が発生し、き裂先端近傍の残留応力（引張残留応力）が解放された場合、き裂の進展はき裂を開口させるある程度の大きさ以上の引張応力の累積が必要であると考えられます。したがって、このルート部の引張応力がき裂の進展に影響を与えているため、引張応力にも着目して評価を行っています。

◆討議 [坂野昌弘 (関西大学)]

1. 図-9で仮定したルート部の形状と評価応力によってこの解析の結論がほとんど決まってしまうと思われませんが、ここで仮定したルート部の形状と、実橋のき裂発生位置のルート部形状および、ここで考えている応力の方向と、実橋でのき裂の発生進展方向とは一致しているのでしょうか。

2. 図-1に示すような全橋モデルで解析を行う意味があるのでしょうか。

3. 4. まとめの(1)と(4)で「ルート部の引張応力がデッキ貫通き裂つとビード貫通き裂つ、それぞれの発生、進展に影響を与えている」と結論付けた根拠は何ですか。

◆回答：

1. 解析モデルのルート部の形状は、阪神高速道路で損傷事例でコア削孔試験結果の1例に基づき、溶け込み量などを反映してモデル化しています。ただ、実橋のルート部（溶接部）の微視的な表面の凹凸などは考慮していません。

応力の方向ですが、本解析では、載荷位置をパラメトリックに変化させて載荷位置に起因する応力の変化（応力値）に着目しています。その際、発生応力として最大主応力や最小主応力で評価する方法もありますが、載荷位置で方向が大きく変わり、実橋のき裂の発生進展方向と大幅に異なる場合があることから、評価応力の方向をルートの接線方向に着目して、発生応力の変化を捉えています。実橋におけるき裂の発生進展方向を捉えた事例（き裂部を含んだコアサンプリング）は極めて少なく、今後の調査の進展が期待されますが、阪神高速道路のコア削孔試験結果損傷事例では、デッキ貫通き裂はき裂の発生方向は、鉛直方向よりやや傾いていますが、解析時に着目した方向とは概ね近いと考えています。

2. 支間部の縦溶接部の応力は、輪重の直上載荷による、デッキがUリブウェブ間を支点として局所的な曲げ変形による影響線長の短い圧縮応力と、車両載荷に起因するデッキのたわみ変形を、Uリブが変形抵抗することで誘起される比較的 영향線長の長い引張応力、との足し合せにより発生していると考えられます。本文で述べていますが、デッキのたわみ変形に起因する応力は、疲労き裂の発生に大きく影響を与えられませんが、その性状を精度よく把握するには、全橋モデルが必要と考えています。

3. デッキのたわみ変形に起因するルート部の引張応力は、応力範囲が大きいことから、これらの累積はき裂の発生に影響を与えていることは明白です。加えて、き裂が発生し、き裂先端近傍の残留応力（引張残留応力）が解放された場合き裂の進展は、き裂を開口させる、ある程度の大きさ以上の引張応力の累積が必要であると考えられます。したがって、このルート部の引張応力がき裂の進展に影響を与えていると考えられます。

論文題目：“連鎖的な部材破壊を考慮した鋼橋のリダンダンシー解析法の提案”

著者：野中哲也，宇佐美勉，岩村真樹，廣住敦士，吉野廣一  
掲載：Vol.56A, pp.779-791, 2010年3月

◆討議 [長谷川明 (八戸工業大学)]

部材破壊に至る時間経過等において，あるいは材料の延性などによってひび割れから破断に至るメカニズムが異なるように思われます。

今後，材料の特性をも考慮した解析成果を期待します。

◆回答：ご指摘通り，材料の特性により，塑性から部材破断までのメカニズムは異なると思われます。今回の解析は，破断と判定されるまでは，よく用いられている歪硬化を有するバイリニアモデルで応力（部材力）が増加し，破断後は瞬間的に破断することを想定していきき構造系が変化した解析になっております。より厳密に行うには，材料毎に材料特性を考慮した応力-ひずみ関係，破断の判定，破断後の特性などを解析に反映させるべきだと思われます。今回の解析は，基礎的な検討を重視したため，ひとつの単純な材料特性だけしか考慮しませんでした。今後は，材料特性の変更により，解析結果にどのように影響するか検討していきたいと思っております。

論文題目：“リダンダンシー解析における鋼トラス橋の引張り斜材破断時の衝撃係数”

著者：後藤芳顕・川西直樹・本多一成  
掲載：Vol.56A, pp.792-805, 2010年3月

◆討議 [野中哲也 (株式会社耐震解析研究所)]

一時衝撃を評価する時に減衰をゼロとしています。この一次衝撃は，減衰の影響が大きく，設定には注意が必要です。ゼロだと過大評価になるのではないのでしょうか。

◆回答：はじめに，誤解のないように本論文のモデルでの減衰の設定について再度説明します。本モデルでは，破断部材（1部材）のみについて減衰をゼロとし，その他の部材については全て減衰定数5%に相当するレーリー減衰を導入しています。

破断部材の減衰をゼロにした理由は，部材破断による一次衝撃の影響の過小評価を防ぐためです。一次衝撃の原因となる破断部材の縦振動には構造減衰ではなく鋼材自体の減衰の影響が支配的です。高周波振動である縦振動では設定する減衰定数

の影響が大きく，これを高めに設定すると伝搬する縦波（応力波）は部材の格点に到達するまでに急速に減衰し，一次衝撃の影響を過小に評価してしまう可能性があります。事実，減衰定数5%に相当するレーリー減衰を破断部材に導入すると一次衝撃はかなり小さい値となり，実際とは異なった結果になります。下記の文献1)によると，鋼材自体の減衰定数は0.1%程度と非常に小さいので，ここでは，一次衝撃の上限値を把握する意味からも，破断部材についてのみ減衰ゼロと設定することが適当であると判断しました。なお，破断部材の減衰が二次衝撃に与える影響は小さく，破断部材の減衰定数を5%としてもこれをゼロとした場合との差は有りません。

1) 中島章典，緒方友一，笠松正樹，横川英彰：高架橋模型の強制振動実験と減衰のモデル化に着目したその数値解析，構造工学論文集，Vol.55A, pp.306-316, 2009.3.

論文題目：“3次元動的解析を用いた鋼トラス橋梁における著大輪重の影響評価”

著者：田辺篤史，関雅樹，松浦章夫  
掲載：Vol.56A, pp.806-816, 2010年3月

◆討議 [谷口望 (鉄道総研)]

1. 輪重を車両で測定されていますが，レールで測定する荷重と差は生じないのでしょうか。車両測定精度はどの程度でしょうか。
2. 動的な影響は設計で考慮している衝撃係数よりも大きいでしょうか。

◆回答：1. 本論文では車両の輪重データは計測対象箇所を抽出する目的で使用しており輪重値の精度はあまり重要ではないのですが，輪重計測車輪は作成時に検定を行っているため，レールで計測した輪重との整合性は静的には問題ないと考えております。ただし，動的なデータの場合，途中でローパスフィルタ処理を施してある関係で，100Hzまでが計測対象となります。

計測の精度ですが，分解能(1000kNレンジ, 12bit)から0.1kN程度までは信頼できると考えております。

2. 対象橋梁の衝撃係数は設計時の計算式で0.676, 現行の算定式(簡易法)で0.474です。

応力範囲の計測結果(図-11)で最大と最小の差がもっとも大きいのが計測点A4で，最大38.3MPa, 最小27.2MPaです。よって今回計測された中で最大の増加率は $83.3/27.2-1.0=0.408$ でした。したがって，動的な影響は衝撃係数と同等以下ということになります。