

1.7. 橋梁床版

とりまとめ：阿部忠（日本大学）

論文題目：“道路橋RC床版上面の凍害劣化と疲労寿命への影響”

著者：三田村浩，佐藤京，本田幸一，松井繁之
掲載：Vol.55A, pp.1420-1431, 2009年3月

◆討議[春日井俊博(株)(横河ブリッジホールディングス)，太田孝二(新日本技術(株))]]

①凍害による劣化の程度はどのようにして調査しているのか。また，凍害による劣化があると判断された場合に，床版を打ち変えるのか？，補強するのか？などの対策を選定する判断基準を教えてください。

②ひび割れ密度による評価が述べられていたが，凍害のない地域のひび割れ密度と凍害が生じる地域のひび割れ密度を同一に扱ってよいか。

◆回答：①現在，一般的に実施しているのは打音検査である。最初，舗装上から打音して浮等があった箇所について，後日，舗装を撤去して直接床版コンクリート上から，再度打音検査による詳細調査を行う。

また，劣化と判断された場合の対策選定については，まだ研究中であるが，現時点での評価は以下に考えている。

- ・コンクリートの押し抜きせん断破壊の場合は，その周辺を打ち換える程度で，一般的に床版全体を打ち換えることはしない。
- ・上面の凍害劣化については補修を実施し，次に凍害が無いものと仮定して，必要せん断強度 P_{sx} を計算する。その結果，必要せん断強度に不足があった場合は下面補強を実施する。（算定に必要な物性値は現場試験を実施している）

現在，上面の凍害劣化と下面の疲労損傷との相関関係を解析しており，これらを含めて，補修・補強・打ち換えなどの判断基準の指標策定の準備を進めているところである。

②凍害によって上面の圧縮抵抗領域が減少すると，変形が大きくなりひび割れ密度も増加する傾向にあるが，実験結果では，必ずしも破壊とひび割れ密度は同定していない。また，現橋床版で発生したコンクリートの押し抜きせん断破壊現場（3橋梁）では，ひび割れ密度が $2\text{ m} \sim 3\text{ m}/\text{m}^2$ 程度であり，ほとんどひび割れが無い状態であった。

従って，凍害のない地域のひび割れ密度と凍害が生じる地域のひび割れ密度を同一に扱えない場合があるものと考えている。

論文題目：“合成床版を有する連続合成桁の中間支店部に関する研究”

著者：水越秀和，春日井俊博，坪内佐織，結城洋一
掲載：Vol.55A, pp.1442-1455, 2009年3月

◆討議[上條崇(住友金属工業(株))，川井豊(東京大学非常勤講師)]]

①式(1)で表される底鋼板の換算板厚は，ボルトのすべりが発生した以降は一定値と考えることはできないのか。

②設計上はボルトのすべりを発生させないことを前提とすることであるが，この場合は，換算板厚を考える必要はないのではないか。

③底鋼板の換算板厚を用いたのは道示(道路橋示方書・同解説)の全強規定対策と思われそうですが，ストレートに作用応力で片面ボルト継手を設計することは無理でしょうか。

④ひび割れ幅の計算式はパーフォボンド型のリブを用いた合成床版であればどんな形式でも適用可能でしょうか。また，構造詳細の設計パラメータで影響のあり得るものとしてはどのようなものがあるか教えてください。

◆回答：①換算板厚はボルトのすべりが発生しない範囲(もしくは摩擦継手の許容力までの範囲)で適用するものとして提案したものであり，すべりが発生した状態では定義することができません。換算板厚は継手部の限界状態(すべり発生)を基にして決定しており，設計上の底鋼板の発生応力度から継手部のボルト配置等が決まれば換算板厚は式(1)により，実際の底鋼板の板厚より小さいある1つの値に決まります。

②論文中で述べているとおり，鋼・コンクリート合成床版を連続合成桁に適用する場合，底鋼板の抵抗断面への算入方法が課題となります。本研究では底鋼板継手部の耐力で決まる限界状態を基にして底鋼板の有効断面を換算板厚として扱う方法を提案しました。換算板厚の考え方を取り入れた抵抗断面で合成桁の応力度照査を行えば，安全側の評価となることを実験的に示しました。

③論文中で述べているとおり，底鋼板の全強の75%に相当する力ではなく，設計計算から求められる底鋼板の作用応力度に対して底鋼板の必要ボルト本数を決定しています。

④鋼板パネルとコンクリートのずれ止めパーフォボンドリブを用いた合成床版は，研究対象とした合成床版以外にいくつかありますが，それらはずれ止め孔を設けたリブが形鋼である，孔あきリブの間隔が研究対象とした合成床版と異なる等の相違点があり，ひび割れ性状が研究対象とした合成床版と異なる可能性があります。したがってずれ止め形式にパーフォボンドリブを用いた他の合成床版に対しては，推定式が適用可能か別途検討する必要があると考えられます。

ひび割れ幅に影響を与える要因としては，論文中で検討しているリブ間隔(=ひび割れ間隔)と鉄筋比以外に，鉄筋

径、周長率、孔あきリブの高さ、かぶり、コンクリート強度などが考えられます。検討に用いた供試体数が少なくこれらのパラメータの影響はひび割れ幅の推定式には考慮できていないため、今後の課題と考えています。

論文題目：“BWIMを応用した実働荷重と走行位置が鋼床版の疲労損傷に与える影響検討”

著者：高田佳彦，木代穰，中島隆，薄井王尚
掲載：Vol.55A, pp.1456-1467, 2009年3月

◆討議[川井豊（東京大学非常勤講師）]

①輪荷重の作用位置の影響は着目リブの右側と左側を通過するときにもでると考えられるがどうか。

②本論文の荷重頻度と荷重位置のデータの汎用性はいかがでしょうか。

◆回答：①Uリブ構造の鋼床版の発生応力は輪荷重（タイヤ）位置に大きく依存し、ビード貫通に影響を与えるデッキとUリブとの溶接線のUリブ側端付近の応力は、横断方向においてUリブウェブをダブルタイヤが挟み込み位置で走行させた場合、後輪によるピーク応力は、載荷側のUリブ（着目リブの右側と称す）は圧縮応力、同一Uリブの非載荷側のUリブ（着目リブの左側と称す）では引張応力となっている。載荷位置を反対側である着目リブの左側において走行させた場合、応力の符号が逆転し交替状態となり、疲労損傷に与える影響が大きい。

②荷重頻度は、道路の等級と種別（国道，地方道路，都市間高速道路，都市高速など），交通特性（大型車混入率など）および交通量，道路周辺の土地利用形態などに依存し，それらが異なると荷重頻度が変化すると考えられる。荷重位置は，今回測定した都市高速の直線高架橋であれば，基本的には幅員および路肩が大きく変わらなければ，本論文で実測した荷重位置データが適用できると考えられる。

論文題目：“走行荷重が作用する道路橋RC床版の押抜きせん断耐力評価式”

著者：阿部忠，木田哲量，水口和彦，川井豊
掲載：Vol.55A, pp.1468-1477, 2009年3月

◆討議[大西弘志（大阪大学）]

今回の提案で示されている①引張鉄筋の降伏ひずみ②ひずみ硬化等価荷重時のひずみ，と床版の押抜きせん断耐力の関係についてどのようなものであるか説明してほしい。

◆回答：一般的に使用されている押抜きせん断耐力は破壊荷重付近であるのに対して，道示Ⅲに規定されている押抜きせん断耐力は鉄筋が降伏する荷重付近に設定されています。しかし，道示Ⅲに規定されている押抜きせん断許容荷重の算定にはコンクリートのせん断許容応力度の影響は考慮されているが鉄筋量は全く考慮されていません。本提案式はこの鉄筋の影響を考慮した押抜きせん断耐力式となっており，押抜きせん断耐力式に用いたひずみ値は実験結果より得られたひずみ値を使用しております。引張鉄筋の降伏ひずみに関しては，鉄筋の材料試験より降伏ひずみ値を算出しています。また，ひずみ硬化等価荷重とは引張強度をヤング係数で除して得られるひずみを，ひずみ硬化等価ひずみ e_s' ($=s_u/E$, s_u : 鉄筋の引張強度, E : ヤング係数) とし，このひずみにおける荷重をひずみ硬化等価荷重と便宜上定義したのとなっています。

論文題目：“UFC埋設型枠RC床版の合成面のせん断強度および理論押抜きせん断耐力式”

著者：阿部忠，木田哲量，新見彩，高野真希子，田中敏嗣
掲載：Vol.55A, pp.1478-1487, 2009年3月

◆討議[松井繁之（大阪工業大学）]

押抜きせん断耐力式の第2項は下側鉄筋位置，すなわちUFC埋設型枠面でのせん断ずれ耐力で表現されているが，その場合の破壊面積ははく離破壊の場合と同じであるが，その妥当性は何か別の方法で検証されているか。

◆回答：UFC埋設型枠の合成面にはφ9mm，深さ5mmの凹凸面を設けたPタイプを採用した。コンクリートが挿入される凹部の面積はUFCの凸部の40%であることからRC床版のコンクリート圧縮強度が顕著となり合成面でせん断ずれによりはく離が生じる。このはく離面積は，ひび割れ形状（図-3）および切断面の破壊状況（図-4）に示すようにRC床版のダウエル効果が及ぼす範囲とほぼ同等である。したがって，合成面にPタイプを採用した場合の押抜きせん断耐力の算出には，松井式におけるダウエル効果が及ぼす範囲にせん断強度 ($f_{cv0,P}$) を適用したことから妥当性が得られていると考えられる。なお，UFCの引張強度 (f_t) は普通コンクリートの4.6倍であることから，UFC埋設型枠には曲げ破壊となるひび割れ損傷は見られない。今後，UFCの引張強度 (f_t) を適用した押抜きせん断耐力式についても検討したい。

論文題目：“UFC埋設型枠を用いたRC床版の実験耐力および疲労耐久性評価に関する研究”

著者：新見彩，阿部忠，木田哲量，田中敏嗣
掲載：Vol.55A, pp.1488-1496, 2009年3月

◆討議[松井繁之（大阪工業大学）]

疲労耐久性実験結果をプロットする時、縦軸の P/P_{sx} の分母 P_{sx} について松井式を使用しているが、なぜ本研究室で提案されているUFC埋設型枠を用いたRC床版の理論押抜きせん断耐力式を用いなかったのか。

◆回答：本報告は、通常のRC床版との比較検討を行うことを目的としており、床版厚さも通常RC床版、UFC埋設RC床版ともに13cmとしています。したがって、S-N曲線による疲労耐久性評価も通常RC床版で一般的に使用されている松井式を適用し比較を行いました。

論文題目：“輪荷重走行疲労試験結果の統一的評価に関する検討”

著者：大西弘志，上條崇，関口幹夫，長屋優子，水越秀和，肥後野孝倫，堀川都志雄
掲載：Vol.55A，pp.1497-1508，2009年3月

◆討議[水口和彦（日本大学）]

各機関で載荷荷重は157kNと統一されているが、載荷板の大きさは異なっています。この点に関しては補正などを行って評価したほうがよいのか教えていただきたい。

◆回答：今回実施しました統一試験の目的としましては、「同一荷重載荷時の各試験機における荷重強度の違い」を確認することを目的としております。すなわち、この試験の結果について精査し、載荷板の形状や面積による影響を明らかにすることによって、ご指摘の補正値を得ることができるものと考えております。試験機毎の載荷システムの違いを考慮する為の補正値を導入することができれば、国内におけるさまざまな試験機の試験結果を同一のレベルで扱うことが可能となり、データの集約に大きく貢献することになるでしょう。

論文題目：“ゴムジョイント付きRC床版の輪荷重走行疲労実験”

著者：関口幹夫，橋原正周，堀川都志雄
掲載：Vol.55A，pp.1509-1520，2009年3月

◆討議[松井繁之（大阪工業大学）]

実験における支持横桁と伸縮継手との距離が1m近くになっており、実橋では30cm程度の距離と大きく異なっているがなぜこのようにされたのか。（本結果は危険側になる可能性がある。）

◆回答：ご指摘のとおり、実橋の支持横桁と伸縮装置の距離は30cm程度である。この距離で実験を行うのが望ましいと考えられるが、伸縮装置取付部床版裏面のひび割れを観察するスペースを確保する必要があること。狭隘部にたわみ計測用の変位計を設置する必要がある。などを考慮したことから70cm位置に支持横桁を配置しました。この支持横桁位置70cmは、実橋の支持横桁位置の30cmより離れた位置にあり、過酷な実験条件になっていると考えられます。

本実験のパラメータである伸縮装置取付部の既設床版厚さ80mm，100mm，120mmが疲労耐久性に与える影響の比較を主目的としましたので、過酷な実験条件下であっても大きな問題ではないと判断しました。ただし、疲労耐久性の寿命推定では、過酷な実験条件下の評価となっていると想定されるものの、今後FEM解析等によって検討します。