

14. 合成・複合構造

とりまとめ：村山八洲雄（岡山大学）

論文題目：“プレキャスト合成床版の配力筋継手に関する性能確認試”

著者：磯 光夫、鈴木幹紹、橋 吉宏、児島哲朗、辛嶋景二郎、栗田章光

掲載：Vol. 52A, pp. 1017-1025, 2006 年 3 月

◆討議[中島章典(宇都宮大学)]

各試験体の高さ方向ひずみ分布において、継手なしは平面保持が成り立っているのに対して、継手ありのひずみ分布は少し曲がっているように見えますが、何か理由があるのでしょうか。

◆回答：図-9a)の設計荷重レベル 180kN 偏心载荷における TYPE-2(重ね継手)と TYPE-3(Broom 継手)の床版上面の主鉄筋方向ひずみが若干小さいため、ひずみ分布が少し曲がって見える。これに対して、図-9a)の配力筋を重ね継手とし、主鉄筋を機械式の Broom 継手とした TYPE-5(主鉄筋継手追加)、および、図-9c)の設計荷重のおよそ 2 倍である 340kN 偏心载荷におけるひずみ分布がおおよそ直線であり平面保持が成り立っているものと考えられる。したがって、TYPE-2(重ね継手)と TYPE-3(Broom 継手)のひずみの値が小さいのは、測定的な誤差であるものと考えている。

◆討議[日野伸一(九州大学)]

本研究で対象としているプレキャスト合成床版の配力筋(橋軸)方向の継手としては、正曲げに対して底鋼板パネルの継手性能をどのように評価するかが重要であるが、これについて検討されたのか。また、設計上どのように取り扱っているのか。

◆回答：底鋼板の配力筋(橋軸)方向の継手は、これまで実施した载荷試験の結果では、設計曲げモーメントに対応する载荷荷重範囲において、鋼板下面の発生応力度が 20N/mm^2 以下であることを確認し、最大間隔に加え、ボルトの本数については設計計算上の応力を伝達する本数で決めている。

また、設計上における底鋼板は、合成前断面では型枠および型枠支保工の役割を、合成後断面では下側鉄筋(主鉄筋および配力鉄筋)の役割を担当している。

論文題目：“鋼・コンクリート合成床版の膨張材によるケミカルプレストレスの評価”

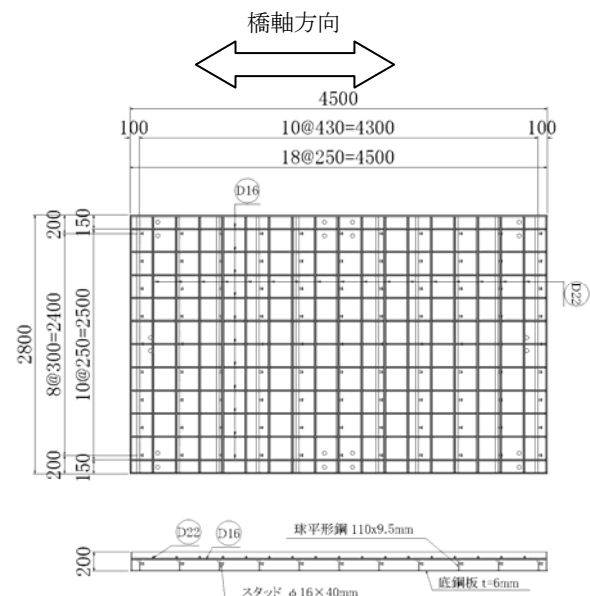
著者：杉原伸泰、生田目尚美、松井繁之

掲載：Vol. 52A, pp. 1027-1038, 2006 年 3 月

◆討議[村山八洲雄(岡山大学)]

図-16 の橋軸方向と橋軸直角方向でプレストレスの分布が異なるが、鋼材の反力などそのメカニズムはどのように考えればいいのでしょうか。

◆回答：床版コンクリートのケミカルプレストレスの分布状態や強度はコンクリートの膨張ひずみが拘束される程度に影響を受けると考えられます。本研究で用いた試験体では、球平形鋼を下図のように配置しており、また、主鉄筋に D22@250mm, 配力筋に D16@250mm を使用しています。これら鋼材の量の差によって直交 2 方向の拘束の程度に差が生じたために、図-16 に示したようにケミカルプレストレスの分布の差に繋がったと考えられます。



◆討議[藤井堅(広島大学)]

コンクリートにプレストレスがケミカルに導入できれば、たとえ弱いプレストレスでも耐久性が格段に向上すると考えられます。是非実現を目指して研究を進められたいと思います。

◆回答：ご討議いただいたとおり、プレストレスが導入されることで床版の耐久性が向上すると考えられます。今後、試験体や実橋床版を用いてデータを蓄積し、ケミカルプレストレスの導入量やその分布状態、時系列変化等々について解明していきたいと考えております。また、鋼・コンクリート合成床版の疲労耐久性の評価においても課題は多くありますが、今後も継続していきたいと考えております。

論文題目：“連続合成桁のひび割れとケミカルプレストレスに関する実験的検討”

著者： 木村 充，長井正嗣，細見雅生，奥井義昭
掲載：Vol. 52A, pp1039-1046, 2006 年 3 月

◆討議 [藤井堅(広島大学)]

図-7の荷重-たわみ曲線で、ケミカルプレストレスを導入したものと入れていないものとの、かなり大きな剛性の差が認められる。ケミカルプレストレスの導入値にもよるが、正確なプレストレス導入効果を調べるためには、経時的なプレストレスの消滅など、かなりセンシティブと考えられるので、詳細検討された方がよいのではないのでしょうか。

◆回答：「3. ケミカルプレストレスの長期持続性実験」において、経時的なケミカルプレストレスについて検討しております。膨張コンクリート打設後、1年と5年についての荷重-変位関係については、図-15をご参照願います。

◆討議 [谷口望(JR 東日本)]

ひび割れ間隔の算定において初期ひび割れ時と安定ひび割れ時に分けていますが、両者の思想が異なっていると思われます。この式を併用する理由は何でしょうか。また、実設計で用いる場合は繰り返し載荷を想定すると思われるので、コンクリート示方書の式を用いるのが一般的と考えてよろしいでしょうか。

◆回答：実験では初期ひび割れは単純載荷で発生させているため、CEB/FIP-90式を用いています。安定ひび割れは複数回の繰り返し載荷をしており、コンクリート示方書の式のひび割れ幅間隔になっているものと考えています。設計をする際には、初期ひび割れ間隔については初期ひび割れが発生するまでコンクリートの応力がほぼ弾性範囲であるため、繰り返し載荷が発生してもCEB/FIP-90式を用いてひび割れ幅を算出する必要があると考えています。

◆討議 [日野伸一(九州大学)]

ケミカルプレストレスは現状ではコンクリートの初期材令時の乾燥収縮や温度応力によるひび割れ抑制を目的として使用されており、長期持続性については不明な点が多いというのが、一般的認識があると考えています。本研究の目的は活荷重による負曲げ対策として長期的効果を期待したものでしょうか。

◆回答：本研究の目的は「1. はじめ」に言及しております。連続合成桁設計(活荷重も考慮して)において中間支点部で発生する負曲げモーメントに対するひび割れ対策として、膨張コンクリートによるケミカルプレストレスを長期持続させることによる効果を期待したものとなっております。

論文題目：“鉄道用連続合成桁の設計におけるテンションステイフニングの影響評価”

著者：谷口 望，池田 学，依田照彦
掲載：Vol. 52A, pp. 1047-1055, 2006 年 3 月

◆討議 [村山八洲夫(岡山大学)]

ひび割れ幅の計算にテンションステイフニングの平均応力を使ったということだが、ひび割れ断面に直接その応力を使ったのか、それとも積分して伸び量とひび割れ間隔から計算したのでしょうか。

◆回答：今回のひび割れ幅計算においては、既存の設計において、テンションステイフニングの影響を考慮した場合どのような影響があるかを検討することを目的としましたので、できる限り土木学会算定式を使用しました。したがって、ひび割れ間隔や収縮量は既存の計算手法のままですが、鉄筋の応力(ひずみ)については、テンションステイフニングを考慮する手法としています。また、この応力(ひずみ)については、ご質問内容のとおり、ひび割れ間隔内のひずみ量を総計した(積分した)ものがひび割れ幅となって生じるという意味合いから考えて、平均応力(平均ひずみ)を用いて算出しています。なお、論文には記述がありませんが、ひび割れ断面に生じている鉄筋の最大応力(ひずみ)を用いて算出すると、ひび割れ幅はテンションステイフニングを考慮しない結果よりも大きな値となることを確認しています。

論文題目：“RC 横桁で連結された H 形鋼連続合成桁の負曲げ載荷実験”

著者：吉村直樹，大山 理，栗田章光，梶川靖治
掲載：Vol. 52A, pp. 1057-1064, 2006 年 3 月

◆ 討議 [長井正嗣(長岡科学技術大学)]

構造あるいは設計の考え方で、ドイツの場合と異なる点があったら、お教え下さい。

◆回答：ドイツで採用されている構造との相違は、コンクリート横桁部の主桁のエンドプレートに配置するずれ止め構造です。つまり、ドイツでは、スタッドのみでせん断力に抵抗させているのに対して、本構造では、疲労特性にも優れたPBLとスタッドを併用させ、せん断力に抵抗する構造を採用致しました。

また、コンクリート横桁の橋軸方向幅と主桁のエンドプレート厚は、2003年にまとめられた *EC Technical Steel Research Report* (下記文献を御参照願います)に準拠して決定致しました。

なお、現構造では、中間支点上の引張力は、橋軸方向鉄筋のみで抵抗させているため、テンション・ロッドで鋼桁上フ

ランジを連結して引張力に抵抗させるなど、実用化に向けてのさらなる検討を続けていく予定です。

【参考文献】栗田章光，伊藤壮一，岡田 淳，吉村直樹：中小スパン合成橋梁の設計－ヨーロッパ委員会の報告書 2003 から－，橋梁と基礎 2005 年 12 月，pp. 41～48，2005 年 12 月。

◆ 討議 [中島章典 (宇都宮大学)]

連結部に配置するスタッドはどのような考えで決定したのでしょうか。

◆回答：連結部 RC 断面(橋軸方向)の終局耐力を計算し，その終局荷重時での連結部に作用するせん断力とユーロコードに基づくスタッドの終局耐力の値によって，スタッドの必要最低本数を算出致しました。

◆ 討議 [村山八洲雄 (岡山大学)]

縮小模型実験であり，もし鉄筋径が実橋の場合より小さいものを用いていれば，実験で得られたひび割れ幅は実橋では，それより大きくなるのではないのでしょうか？

◆回答：御指摘のとおりです。今回の試設計と実験供試体に用いた鉄筋は，ともに同径の鉄筋を用いております。実橋では，できるだけ細径の鉄筋を用いることにより，コンクリートのひび割れの分散化を図る必要があります。

論文題目：“鋼・コンクリート二重合成 I 桁橋の力学特性に関する実験的研究”

著者：中野貴史，大久保宣人，大山 理，夏秋義広，栗田章光

掲載：Vol. 52A，pp. 1065-1072，2006 年 3 月

◆ 討議 [村山八洲雄 (岡山大学環境理工学部)]

TYPE-C はなぜ合成効果がよくないのでしょうか。この場合、コンクリートの打ち込みは十分可能だったのでしょうか。

◆回答：水平スタッド配置の TYPE-A および鉛直スタッド配置の TYPE-B と比較して，スタッドを併用配置した TYPE-C は，スタッド間隔が 200mm と同一のため，TYPE-C のコンクリートの打ち込みは十分可能であったと考えられる。TYPE-C の降伏荷重が TYPE-A および TYPE-B と比較して，若干低い値を示しているが，ほぼ同等であったと考えられる。本実験において，スタッド配置の違いによる明確な差異が見出せなかったため，今後は，疲労性状における差異を検討する予定です。

論文題目：“少数主桁橋梁における孔あき鋼板ジベルのずれ挙動に関する研究”

著者：岩崎初美，藤井 堅，深田和宏，天野仁美

掲載：Vol. 52A，pp. 1073-1082，2006 年 3 月

◆ 討議 [日野伸一 (九州大学)]

斜めひび割れの発生角度を 45° に設定しているが，その理論的根拠はあるか。主応力度か，あるいは上フランジ幅とウェブ孔の位置との幾何学的関係か。

◆回答 斜めひび割れの発生角度は，供試体に発生したひび割れよりその角度を 45° と推定しました。このひび割れ角度は，ほぼ主応力度方向に近いと考えます。

論文題目：“支圧力作用下における鋼・コンクリート接触面の静的・疲労付着特性”

著者：猪股勇希，中島章典，斉木 功，大江浩一

掲載：Vol. 52A，pp. 1083-1090，2006 年 3 月

◆ 討議 [日野伸一 (九州大学)]

支圧応力 $0.4 \sim 2.0 \text{ N/mm}^2$ を設定しているが，実構造物としてはどのようなものを対象としているのか。

◆回答：例えば，合成桁ではコンクリート床版と鋼桁上フランジの間に何らかの支圧力が作用している他，種々の鋼コンクリート複合構造物の各所において鋼とコンクリートの接触面が存在しており，ある程度の支圧力が作用していると考えられます。それらの支圧力が鋼とコンクリート接触面の付着や摩擦に及ぼす影響は必ずしも明らかにはされておらず，また，一定の支圧応力が確保されている場合に，どの程度の摩擦が期待できるのかについても不明の点があります。本研究では，基礎的性状を把握する立場から，支圧応力の範囲を $0.4 \sim 2.0 \text{ N/mm}^2$ 程度に設定して性状を調べました。 1 m^3 のコンクリートの自重による支圧応力が 0.024 N/mm^2 程度に比較してかなり大きい値になっています。なお，現段階では，特に具体的な実構造物をイメージしていません。

◆ 討議 [松田浩 (長崎大学)]

鋼材の凹凸で付着抵抗を取る方法もありますが，今回，支圧力に注目して実験を行われた理由をお聞かせください。

◆回答：上記の質問にも答えましたが，鋼とコンクリート接触面の支圧力と付着や摩擦との関係は必ずしも明らかにはされておらず，また，一定の支圧応力が確保されている場合に，どの程度の摩擦が期待できるのかについても不明の点がありますので，基礎的研究として今回のような実験を行いました。

論文題目：“鋼板を有する RC 試験体の応力伝達性状に及ぼす異形スタッドの効果”

著者：藤本大輔，中島章典，井上 淳，斉木 功
掲載：Vol. 52A, pp. 1091-1098, 2006 年 3 月

◆討議 [日野伸一（九州大学）]

1. 頭付きスタッドと異形スタッドの場合で、ひび割れ分散性に差異が見られたか。

2. 異形スタッドと頭付きスタッド供試体で、引き抜き抵抗として異形スタッドの方が優れるということは定性的には理解できるが、本実験供試体では、頭付きスタッドの頭部においてコンクリートの断面欠損が結果に無視できない影響を及ぼしていないか。

3. 異形スタッドは定着長確保の必要性から、長くなるため、施工性において不利になることはないか。

◆回答：

1. 論文中的図-12 から、頭付きスタッドと異形スタッドの両スタッド端部間では、鋼板と左右のコンクリート間の目開き以外のひび割れは発生していません。目開き量は図-15 から、異形スタッドの場合の方が頭付きスタッドの場合よりも大きい値となっています。また、スタッド端部間より外側では、ひび割れは発生していますが、両者とも RC 部材となっていますので、両者のひび割れ分散性に差異はあまり見られませんでした。

2. 論文中的図-12 から、頭付きスタッドを設けた試験体では、最初のひび割れが必ずしも頭付きスタッド頭部の位置に発生しているとは限らず、頭付きスタッド頭部より外側に発生している試験体もあります。そのため、頭付きスタッド頭部位置でのコンクリートの断面欠損がひび割れに及ぼす影響はあまり大きくないと考えられます。

3. 異形スタッドは頭付きスタッドに比べて定着長確保の必要性から、長くなってしまいますので、頭付きスタッドと比べると施工性において不利になると考えられます。しかし、異形スタッドを用いることによる、鋼板と左右のコンクリート間の目開き抑制効果の有効性から、定着長確保の必要性による施工性の不利はやむを得ないと考えます。

論文題目：“複合ラーメン橋脚隅角部の応力伝達機構に関する研究”

著者：友田富雄，日野伸一，山口浩平，郭 勝華
掲載：Vol. 52A, pp. 1099-1108, 2006 年 3 月

◆討論 [佐藤知明（JIP テクノサイエンス）]

FEM 解析における隅角部のメッシュが粗くないでしょうか。ま

た、その切り方によって耐力は変化しないのでしょうか。メッシュ分割を小さくすると、隅角部の耐力が低下すると思いますが。

◆回答：FEM 解析モデルの要素は、鉄筋配置および解析時間を考慮してコンクリート要素のメッシュ寸法を決定しています。モデル化の検討段階で、2 種類のメッシュ分割による解析を実施しましたが、保有耐力には大きな差は現れていません。さらに要素分割を細かくした解析は実施していませんが、曲げ試験結果や応力伝達機構の検証には、必要十分な解析モデルだと考えています。また、複合ラーメン橋脚の隅角部の解析では、コンクリートと鋼材要素の境界条件が、終局耐力や変形性状に大きな影響を及ぼすことを、事前のパラメータ解析で検証しています。

論文題目：“P C 複合トラス橋格点部の構造特性に関する研究”

著者：野村敏雄，寺田典生，本間淳史，青木圭一，
加藤敏明，大野 了

掲載：Vol. 52A, pp. 1109-1118, 2006 年 3 月

◆討議 [古市耕輔（鹿島建設）]

二重鋼管が中心に来ない時についての知見はありますか。

◆回答：大きな問題は無いと考えているが確認はしていません。実橋ではほぼ中心に収まっているので、今回の結果と同様であると考えます。

論文題目：“正負交番繰返し荷重を受ける合成フーチングの力学性状に関する実験的研究”

著者：田 福勝，原田尚幸，大畑和夫，竹口昌弘
掲載：Vol. 52A, pp. 1119-1129, 2006 年 3 月

◆討議 [清宮 理（早稲田大学）]

サンドイッチ式フーチングの諸元（フーチング版厚，鋼板の板厚，フーチング表土）はどのような設計思想で設定されたのでしょうか？

◆回答：試験体は 2. 実験概要に述べたように設計検討中の合成フーチング寸法を約 1/5 に縮小したものです。設計検討中の合成フーチングは基本的に鉄筋コンクリートフーチングの設計思想にしたがって設計しました。具体的に言うと、合成フーチングの版厚は剛性仮定（日本道路協会：道路橋示方書 IV 下部構造編，平成 14 年 3 月）を満足する版厚を採用しました。上下面鋼板の板厚は腐食代を考慮し、鋼板を等断面積の鉄筋に等価して鉄筋コンクリートフーチングと同じように設

計しました。せん断補強鋼板の間隔は杭の配列を考慮して決めました。せん断補強鋼板の板厚は有効幅を全断面有効として、サンドイッチ構造設計指針（土木学会：コンクリートライブラリー第73号、鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針（案）、平成4年7月）により設計しました。合成フーチングせん断耐力の設計方法に関しては現在検討中であり、今後ご報告する予定です。また、フーチング表土の厚さは最小500mmと想定しました。

◆討議[長井正嗣（長岡技術科学大学）]

有効幅の大きさは基礎の境界条件の影響を受けると思いますが、これはどのように考えましたか？

◆回答：合成フーチングは都市部交差点立体化の急速施工のために開発したものであり、主として単独基礎のフーチングを対象と想定しています。単独基礎のフーチングの有効幅の大きさを影響する主要因として基礎の種別（杭基礎か直接基礎か）、せん断スパン比、橋脚柱の幅とフーチング幅との比などが挙げられます。基礎の種別の影響については、合成フーチングは剛性仮定を満たすことを前提とするので、杭基礎でも各杭の支持力の差がそれほど大きくないと考えています。したがって、基礎の種別の影響は考慮しなくてよいと思います。橋脚柱の幅とフーチング幅との比の影響については、有効幅の式に橋脚柱の幅を変数として考慮しています。せん断スパン比の影響については、設計上によく使われるせん断スパン比（1.5）のみを用いた実験としたため、把握していません。今後、せん断スパン比の影響について検証する必要があると考えています。

論文題目：“サンドイッチ合成構造部材の耐火実験への有限要素解析の適用”

著者：中井章裕，清宮 理，工藤健一，山本邦夫

掲載：Vol. 52A, pp. 1131-1138, 2006 年 3 月

◆討議[松田浩（長崎大学）]

コンクリートのひび割れは、熱応力によるものであったとまとめの2番目に述べられていますが、温度上昇によってコンクリートも膨張しているものと考えられます。コンクリートにひび割れが発生するのは、何らかの拘束力が作用しているものと考えられますが、どのようなメカニズムでひび割れが発生したのでしょうか。

◆回答：実験および熱伝導解析によると、コンクリートと鋼材間に存在する空気層の断熱効果によって、両部材間の温度が大きく乖離する結果となっています。例えば、鋼材の最高温度時（420℃）のコンクリート温度は170℃となっており、鋼材の熱膨張量にコンクリートの熱膨張量が追従できていない状況になっています。このことから、型鋼の水平変位をコン

クリートが拘束し、結果的にコンクリートに水平力が加わったというのが、ひび割れが発生した理由だと考えています。

◆討議[古市耕輔（鹿島建設）]

耐火被覆厚を計算するにあたり、コンクリートと鋼材の許容温度を設定していると思いますが、どのような根拠で決定したのでしょうか？

◆回答：材質にもよりますが、既往の研究ではコンクリートの圧縮強度は300℃～400℃程度、鋼材の降伏強度は400℃～500℃程度から低下する傾向となっています。本実験では、部材の性質が変化しない程度の温度である350℃をコンクリートおよび鋼材の許容温度としました。