

13.[合成・複合構造]

とりまとめ：村山八洲雄(岡山大学)

論文題目：“空気浮上重錘衝突実験装置を用いた鋼管内充填コンクリートの抵抗力特性に関する実験的研究”

著者：白石博文，梶田幸秀，香月智  
掲載：Vol.51A，pp.1369-1378，2005年3月

討議 [ 齊木功 (東北大学) ]

実験で計測したひずみ速度を用いれば，従来のひずみ速度を考慮した構成式で構成関係を予測できるとのことでしたが，衝突速度からひずみ速度を予測することは可能でしょうか。

回答：載荷面と反対側の面が固定端であれば，衝突速度/供試体長で平均のひずみ速度を求めることが可能ですが，本実験の場合，固定条件が自由端であるため，計測された実ひずみ速度をもって，既往の式に代入しました。

論文題目：“鋼・コンクリート二重合成連続箱桁橋の床版打設順序に関する研究”

著者：泰平詠二，大山理，梁鐘護，栗田章光  
掲載：Vol.51A，pp.1379-1386，2005年3月

討議 [ 亀川博文 (横河ブリッジ) ]

コンクリートの引張強度はどの程度の値で制御を考えていますか？ 床版ブロックの打継目は，一般部のコンクリートの引張強度より低くなると考えられますが。

回答：本論文の解析は，実際にドイツで施工されたハーベル橋を対象にし，上コンクリート床版に発生する応力度を抑えることのできる打設順序の検討を行っており，引張強度を設定して打設順序の検討は行っていません。しかし，当然のことながら，施工時にひび割れを生じさせないようにする等の検討を行っていく必要があり，今後，打継目の応力評価も行っていきたく思います。

討議 [ 亀川博文 (横河ブリッジ) ]

温度差応力を考慮して検討された方がよいのではないのでしょうか？ 意外と大きい応力が作用すると考えられます。

回答：ご指摘のとおり温度差応力は考慮した方がよいと思いますが，今回の解析においてはコンクリート自重等の死荷重とクリープおよび乾燥収縮のみ考慮しております。

討議 [ 松島学 (香川大学) ]

3つのケース数で最適な施工パターンを探していますが，もっと，数多くの計算により最適化を図った方が良いのではないのでしょうか？

回答：作用する応力度をもっとも抑えることのできる打設順序を最適化とするならば，多くの検討ケースを計算することによって求まると考えられますが，実設計においては，ある目標値を設定して，応力度がその設定値以内であれば，施工性に問題がなければそれ以上の検討を行う必要はないと考えます。しかしながら，本文ではその点に関して明確に記述しておらず，「最適化」という言葉が不適切であったかも知れません。

討議 [ 松島学 (香川大学) ]

どのような理由で下コンクリート床版よりも上コンクリート床版の方が，感度が高いのでしょうか？

回答：死荷重時において，下コンクリート床版の応力は打設順序の違いによる影響が少なく，最終的にはほぼ同じ応力が作用することになります。しかし，上コンクリート床版の応力は床版ブロックの打設順序によって大きく変化し，そのため応力変化が大きくなると考えます。

討議 [ 川田成彦 (首都高速道路公団) ]

床版打設順序によって，下床版に生じる応力に差が生じることですが，実構造で上床版を打設した後に下床版を打設することで，下床版に応力が生じないようにした例はないですか？

回答：ありません。本形式構造はドイツでの施工事例が多く，著者らの知る限りでは側径間部の架設後に下コンクリート床版の打設を行い，その後に中央径間部を大ブロックで一括架設を行っています。

論文題目：“解析的均質化手法を用いた複合材料・構造の簡易解析と最適化”

著者：王 峰，岩熊哲夫，小山茂  
掲載：Vol.51A，pp.1387-1396，2005年3月

討議 [ 谷口望 (JR東日本) ]

コンクリートのファイバー補強の剛性向上について検討していますが，圧縮側と引張り側の両方について検討されているので

しょうか？

回答：通常の施工を考えて、全断面には予め所定の繊維を分布させましたが、特に円孔のあるウェブの解析においては、引張側にのみさらに繊維を追加して効果を検討しています。残念ながら、発表時にも申し上げましたように、桁の場合には剛性改善効果はそれ程はありません。やはりブリッジング作用による靱性改善が主と考えられます。

論文題目：“CFRP-コンクリート合成桁の曲げ挙動特性に関する実験的検討”

著者：杉浦邦征，北川淳一，大島義信，小野紘一，  
小牧秀之，北根安雄

掲載：Vol.51A，pp.1397-1404，2005年3月

討議 [ 日野伸一 (九州大学) ]

CFRP コンクリートハイブリッド桁の終局状態に至る挙動に対して、本試験体の外周に巻き立てる炭素繊維シートは、ずれ止め効果および CFRP 上フランジの局部座屈に対する補剛効果として機能していると考えてよいでしょうか？

回答：本研究で製作した CFRP-コンクリート合成桁モデルは、CFRP 桁とコンクリート板を接着した合成桁構造に CF シート（一方向繊維）を巻き立て、樹脂で硬化させた。巻き立てた CFRP 要素には、部材軸方向の強化繊維は存在せず、合成桁に対しては強度要素ではないため、ずれ止めの効果は期待できないと考える。一方、CFRP 桁は、同一断面の CFRP 部材を並列に並べて接着により一体化した桁構造であり、また、コンクリート板を圧縮部に配置して、桁上の横荷重を CFRP 桁へ分散させる機能および CFRP 桁の圧縮部の局部座屈の拘束効果を期待した合成桁構造を提案するもので、接着面の剥離にもなる部材の分離、もしくは圧壊コンクリートの脱落等を阻止することを目的とした CFRP 巻き立てである。CFRP 桁とコンクリートスラブのずれ・剥離後に CFRP 桁に局部座屈が発生したことから、CFRP 巻き立てによる CFRP 桁の局部座屈の拘束効果は無いと判断できる。今後は、巻き立てた CFRP 要素に発生する周応力・ひずみおよび CFRP 桁の応力・ひずみを詳細に計測・比較し、損傷過程と関連付けて考察することで CFRP 巻き立ての効果を検討すべきと考える。また CF シートにプレストレスを導入して巻き立てることで、CFRP 桁とコンクリート板間の垂直応力を高め、ずれ強度の向上が期待できるかなどを検討することも今後の研究課題と考える。

論文題目：“鋼製セグメントと RC 躯体の接合部応力伝達に関する一考察”

著者：土橋浩，川田成彦，白鳥明，山田武正，吉岡健一，篠崎裕生，大竹省吾

掲載：Vol.51A，pp.1405-1414，2005年3月

討議 [ 香田智 (防衛大学校) ]

シアコネクタに引抜き力が働くと、せん断抵抗挙動が異なると考えられますが、実構造と本試験法の状態はどのようになっていますか。

回答：本論文の実験は、シアコネクタの母材（主桁）に押し抜き力が作用した際の RC 躯体への応力伝達が、極力実構造と同様になるよう試験体の境界条件を設定して行ったものです。

ご指摘のように、引抜き力に対してはせん断抵抗挙動が異なると考えられますが、対象とする主桁はシールドセグメントの主桁であるために、主桁軸力は引張とならず、すべて圧縮となります。従いまして、実構造においても引抜き力は作用せず、本試験結果と同様の挙動を示すものと考えております。

ちなみに、本論文の検討結果を元に設計した、実構造の 1/2 モデルの試験体を用いた実験を別途行いましたが、設計値に対して十分な安全率を有していることを確認しております。

討議 [ 内藤英樹 (東北大学) ]

スタッドの配置により、荷重の小さい段階でのひびわれ発生などは確認されないでしょうか。

回答：本論文で対象としている構造物におきましては、スタッドはあくまでもシアコネクタのせん断耐力のみでは抵抗しきれない部分を補うという位置付けのものです。従いまして、スタッドのせん断耐力はシアコネクタのせん断耐力に比べれば小さいものであり、本実験におきましても、スタッドを用いたことによって荷重の小さい段階でひび割れが発生するという事象は確認されませんでした。

討議 [ 齊木功 (東北大学) ]

実構造と同じ条件となるように、試験体の下端を自由にしたと伺いましたが、コンクリート部に曲げモーメントが発生すると思われま。実構造における作用力との対応、また、設計における曲げモーメントの影響をどのようにお考えでしょうか。

回答：本実験に用いた試験体では、梁高を主桁埋め込み長（＝実構造の梁を模した部分）の 2 倍以上の高さとする事で、主桁近傍のせん断破壊時において梁としての曲げモーメントあるいはせん断力で破壊しないように工夫しています（論文図-6 参照）。本実験の目的は、シアコネクタおよびスタッドを介したせん断伝達耐力をなるべく正確に把握し、設計式を設定することでしたので、このような方法を採用しております。

実構造におきましては、ご指摘のとおり RC 躯体側に曲げモーメントが発生しますので、押し抜きと曲げとの連成については、別途、実構造を模した実験で確認しております。この実験では、本論文の検討結果を元に設計した、実構造の 1/2 モデルの試験体を用いておりますが、設計値に対して十分な安全率を

有していることを確認しております。

討議 [ 吉武謙二 ( 清水建設 ) ]

縦リブはシールドジャッキの推進力に使うのですか、またその場合、コンクリートの充填に問題はないのですか。

回答：ジャッキの推進に使います。シールドとRCを接合する際に、縦リブの一部を切断するので問題ありません。

論文題目：“正負交番荷重を受けるSRC柱の塑性曲率分布のモデル化および軸方向鉄筋の座屈に着目した靱性能評価”

著者： 内藤英樹，秋山充良，高田真人，清水真介，洪起男，鈴木基行

掲載：Vol.51A，pp.1415-1424，2005年3月

討議 [ 山田武正 ( 三井住友建設 ) ]

SRC 構造の場合、曲げモーメントに対する引張材として鉄筋とともに鉄骨が有効に機能するために鉄筋の座屈、コンクリートの剥落を遅らせるのではないかと考える。式(6)で鉄骨の影響が考慮されているが、これは塑性ヒンジを算定するものである。鉄骨の断面積および剛性が座屈に及ぼす影響について考えを教えてください。

回答：著者らが提案する靱性能評価法では、軸方向鉄筋の座屈が生じる際の断面曲率と等価塑性ヒンジ長を定めております。ご指摘の通り、式(6)の等価塑性ヒンジ長を算定する際には鉄骨の影響を考慮しておりますが、図-7の断面曲率の算定フローでは、SRC断面から鉄骨部分を除くために鉄骨の影響は考慮しておりません。著者らの正負交番荷重実験では、軸方向鉄筋の座屈が生じる塑性変形域では鉄骨とコンクリートの付着がないことがひずみゲージの値により確認されました。このため、鉄骨は曲げモーメントに対しては有効に機能するが、軸方向鉄筋の座屈発生点を算定する際に着目すべき鉄筋のひずみには影響を与えないと判断されます。そこで、図-6の軸方向鉄筋の座屈解析を用いて断面曲率を算定する際には、鉄骨の断面積および剛性が座屈に及ぼす影響を無視しました。

討議 [ 池田学 ( 鉄道総合技術研究所 ) ]

かぶり剥落点の定義を教えてください。この点を終局点と考えるのですか？

塑性ヒンジ長の算定式の根拠を教えてください。

回答：最初のご質問についてですが、本研究では、軸方向鉄筋の座屈に伴いかぶりコンクリートが大きく剥落する損傷点をかぶり剥落点と定義しました。このため、図-2に示す正負交番荷重実験でのかぶり剥落点は、目視により載荷面のかぶりコンクリートの浮き上がり剥落が生じ、軸方向鉄筋の露出が確

認された載荷ステップを示しております。なお、図-2に示すように、鉄骨の割合が多いSRC柱では、かぶり剥落点以降も耐力低下が小さく安定した復元力特性を維持しております。このため、かぶり剥落点はRCおよびSRC柱に共通した修復性の観点から定められる限界状態と考え、今後は、H形鋼の局部座屈を終局点としたSRC柱の靱性能評価法を検討する予定です。

第2のご質問についてですが、図-7の算定フローによる終局曲率を用いて等価塑性ヒンジ長を逆算した結果、得られた等価塑性ヒンジ長と実験時の軸方向鉄筋の塑性化区間が概ね対応することが示されました。そこで、既往の研究を加えた表-8と表-9に示す計18体のRCおよびSRC柱の実験結果を用いて、軸方向鉄筋の塑性化区間に対応した等価塑性ヒンジ長の算定式を帰帰的に決めました。その結果、論文に示しました参考文献(18),(23),(24)を参考にして、RCはりの軸方向鉄筋の塑性化区間を評価したMattockの算定式を基に、軸方向鉄筋径、降伏モーメントと最大モーメントの比、および鉄骨鉄筋比をパラメータとして、表-8と表-9の実験結果に整合するようにこれらのパラメータの係数を定めた式(6)の算定式を提示しました。

論文題目：“コンクリート充填鋼管(CFT)アーチの耐荷特性に及ぼす断面諸元の影響”

著者： 日野伸一，山口浩平，友田富雄，片淵和啓  
掲載：Vol.51A，pp.1425-1430，2005年3月

討議 [ 香月智 ( 防衛大学校 ) ]

解析による検討では、降伏荷重に関しては中空鋼管とCFTではあまり差はなく、局部座屈や最大荷重に関しての向上が著しいことが見受けられます。すなわち、CFT化は靱性向上に効果があるのですが、設計においてその効果を有効に評価できるようになっているでしょうか。

回答：現在のCFTは、鋼管と充填コンクリートとを合成断面として設計される場合もありますが、非合成断面として設計されているものもあります。著者らは、鋼管と充填鋼管は十分な合成度を有していることを確認しており、CFTの力学性能を十分に発揮するためには、合成断面として取扱うことが有用であり、CFTは靱性を大幅に向上させることのできる構造であると考えます。

討議 [ 中村聖二 ( 長崎大学 ) ]

“鋼・コンクリート間の合成の程度はあまり影響ない”という結論は、1/4点載荷でもいえるのですか？

回答：紙面の都合上、1/4点載荷の解析結果は掲載していませんが、1/2点載荷の場合と同様の結果です。よって、1/4点載荷の場合でも、鋼・コンクリート間の合成の程度はあまり影響ないと考えます。

討議 [ 中村聖二 (長崎大学) ]

1/4 点載荷と 1/2 点載荷の力学挙動の違いはあるのですか？

回答：本論文では、1/2 点載荷の結果のみを掲載しているが、1/4 点載荷の実験を行いました。詳細は、昨年の構造工学論文集に掲載されています（コンクリート充填鋼管（CFT）アーチの耐荷特性に関する実験および解析：日野伸一、劉王攀、山口浩平、彦坂熙，Vol.50A，pp.1043-1050，2004）。両供試体は、載荷点が異なることによる局部座屈の発生箇所、変形挙動には差異が見られますが、CFT としての基本的な力学挙動には違いは見られません。

論文題目：“コンクリート充填細幅箱桁の静的曲げ耐荷力に関する実験的研究”

著者：森下泰光，中村俊一，有馬博人，広野正彦，安田修  
掲載：Vol.51A，pp.1431-1438，2005 年 3 月

討議 [ 中島章典 (宇都宮大学) ]

コンクリートの充填は、設計上の強度上昇を期待しないということでしょうか。

回答：今回行った実験から得られた結果からだけ判断すると、コンクリート充填箱桁は、充填前の鋼箱桁断面の降伏強度程度までは安定した弾性挙動を示しており、常時などその断面の弾性限付近の強度を用いて設計する荷重条件では充填前の鋼断面よりもある程度高い設計強度としてもよいのではないかと考えます。

ただし、今回の実験より把握できるのは、コンクリート充填箱桁の特徴は終局耐力の増加もさることながら、じん性が向上することです。したがって、限界状態設計法を用いた場合、鋼箱桁断面ではノンコンパクト断面で設計されますが、コンクリート充填箱桁はコンパクト断面設計が適用可能と考えられます。また、大規模地震時においてもコンクリート充填箱桁の優れたじん性は有利に働くと考えられます。

論文題目：“複合構造内の RC 部材を遮断する鋼板がその力学性状に及ぼす影響”

著者：井上淳，中島章典，斉木功，源寛輝，嘉無木昌之  
掲載：Vol.51A，pp.1439-1448，2005 年 3 月

討議 [ 廣瀬彰則 (中央復建コンサルタンツ) ]

発表されている部材は、実構造物では、橋脚柱頭部のように軸圧縮力が作用することが想定されます。軸圧縮力を受けた際の挙動について追加の実験の計画があるか、あるいは何らかのこ

メントをいただきたい。

回答：今のところ、剛結構造部が軸圧縮力を受ける場合に関する追加実験は計画しておりません。軸圧縮力を受ける剛結構造部では、軸力伝達のごく初期の段階において鋼板とコンクリート間の支圧伝達が不十分なために、例えば、図-16 に示すように鋼板とコンクリート間の圧縮力伝達の剛性が低下することが予想されます。

討議 [ 廣瀬彰則 (中央復建コンサルタンツ) ]

鋼板を挟まない供試体では、ノッチ部 1 ヶ所にひび割れが入り、その位置における鉄筋応力が追跡されています。ジベルを有する供試体では、このひび割れが 2 ヶ所生じているが、その位置における鉄筋応力の変動についてコメント下さい。

回答：ご指摘の通り、スタッドを有する試験体では、中央鋼板を介して両側のスタッド頭部先端付近にひび割れが発生しております。鉄筋のひずみ分布から、そのひび割れ位置の鉄筋応力は、スタッドがない隣接するひび割れ位置の鉄筋応力にほぼ等しい挙動となっており、特にスタッドの存在による応力集中のような現象は生じておりません。

討議 [ 中村聖三 (長崎大学) ]

今回の実験では、一定の鋼板厚が用いられていますが、得られた結論に対する板厚の影響について、何か検討されていれば、教えて下さい。

回答：今回の実験的研究では、鋼板厚が鉄筋およびコンクリートの性状に及ぼす影響について検討しておりません。従いまして、鋼板厚が今回の実験で得られた知見に対して、どのように影響するかは分かっておりません。例えば、スタッドを溶接するような場合には、溶接に際して問題にならない程度の鋼板厚を確保する必要があると考えられます。

論文題目：“連続合成桁における中間支点部の活荷重応答に関する実橋測定”

著者：谷口望，相原修司，池田学，八巻康博，藤原良憲，鈴木喜弥，木下哲龍  
掲載：Vol.51A，pp.1449-1457，2005 年 3 月

討議 [ 中島章典 (宇都宮大学) ]

鋼桁ウェブのひずみゲージは片側の面のみに貼付けたのでしょうか。

回答：ウェブのひずみゲージは、本来は両面に取り付けて平平均値を用いるべきですが、ウェブ内側には制振板が取り付けられていることと、今回はできるだけ広い範囲の測定を行いたい

という観点から、ウェブ片面のみの測定としました。

討議 [ 松島学 ( 香川大学 ) ]

曲げの曲率分布が直線となっていないのではないのでしょうか。特に下から2つ目の計測値が直線上に乗っていない理由は何ですか。

回答：測定対象橋梁の断面が開断面形式となっているため、ねじれ挙動の影響が出ていると考えています。そのほかの影響についても、今後検討したいと考えています。

論文題目：“負曲げを受ける鉄道用合成桁のひびわれに関する実験的研究”

著者：谷口望，池田学，碓山晴久，入部孝夫，小野沢直，依田照彦  
掲載：Vol.51A，pp.1459-1469，2005年3月

討議 [ 中島章典 ( 宇都宮大学 ) ]

鉄筋ひずみは、ひびわれの位置の影響を大きく受けるとは思いますが、異なる試験体間で鉄筋ひずみを比較する場合には、その影響を何か考慮していますか。

回答：本論文では、ひび割れ部とそれ以外の部分の鉄筋のひずみの大きさの差を考慮し、理論値としては最大値と平均値を示しています。また、各供試体の比較に当たっては、多くの断面の測定結果を使用することで、ひずみ理論値の最大値に対してそれ以下となっていることを確認したうえで、各供試体の傾向をとらえるようにしております。

討議 [ 古市耕輔 ( 鹿島 ) ]

P B L に貫通鉄筋は入れているのですか。

回答：P B L 供試体 ( B 体 ) では、実際の鉄道用橋梁で使用実績のある構造をできるだけ忠実に再現できるように、貫通鉄筋を配したズレ止めとしています。実際の橋梁における接合方法の概要は、論文の参考文献 8 ) に示されていますので、ご参照ください。

討議 [ 齊木功 ( 東北大学 ) ]

ずれ剛性が高いことを理由の一つとして負曲げ部に採用していますが、今回の実験でそのような結果は得られましたか。

回答：ずれ止めにおけるスタッドと P B L とのずれ剛性においては、本実験では顕著な差は見られませんでした。理由としては、既存の論文ではひび割れを生じさせない押し抜きせん断実験による結果によるものであることに対して、本実験ではひ

び割れを生じさせた実験であることからそのようになったと考えています。つまり、ひび割れが生じた付近のずれ止めについては、ずれ止めの種類にかかわらず、ずれが大きくなる結果となったため、ずれ止めの差による影響が小さくなったといえます。詳細については今後実験結果をさらに検討したいと考えています。

論文題目：“合成桁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，豊田正，深田和宏  
掲載：Vol.51A，pp.1483-1491，2005年3月

討議 [ 平城弘一 ( 摂南大学 ) ]

合成桁供試体のコンクリート床版の幅はどのように決めたのでしょうか。有効幅を考慮されたのですか。また、P B L ジベルの押し広げ力は P B L の板厚に影響しないのですか。

回答：最初のご質問についてですが、合成桁供試体のコンクリート床版の幅は、主鉄筋の定着長が確保できるサイズとしました。今回の実験では、床版の有効幅までは確保していません。次のご質問についてですが、P B L の板厚は、初期に発生する孔部のコンクリートの破壊 ( せん断破壊等 ) に影響すると考えます。しかし、この押し広げ力は、孔部コンクリートの破壊後、孔周辺のコンクリート骨材の乗り上げによって発生するので、P B L の板厚の影響はないと考えています。

討議 [ 園田恵一郎 ( 大阪工業大学 ) ]

式(2)の  $V=2.5T$  では、押し広げ力  $T$  とせん断力  $V$  が比例していますが、押し広げ力は、コンクリートは一種の粒状体であることにより、せん断変形に伴って膨張が起こり、この膨張を拘束することによって拘束圧力が発生すると思われま。したがって、押し広げ力はせん断変形量 ( ずれ量 ) に依存して発生するもので、図-23 の実験結果でもそのような傾向が認められるので、式(2)の提案はいかがなものでしょうか？

回答：P B L を囲むコンクリートに発生する押し広げ力は、孔部付近のコンクリート骨材の乗り上げに起因して発生すると仮定しております。コンクリートのせん断変形によって、孔部に押し広げ力が発生したのかどうか定量的に求めるところまでは至っていません。

ただし、破壊後の供試体を観察すると、P B L を囲むコンクリートには骨材が乗り上がった跡があり、孔部付近のコンクリート骨材の乗り上げは押し広げ力に影響を与える一番の要因であると考え、式 ( 2 ) を提案しました。

論文題目：“軽量骨材コンクリートを用いたずれ止めのせん断

## 疲労特性に関する実験的研究”

著者：鈴木喜弥，藤原良憲，平城弘一，児島哲朗，橋吉宏  
掲載：Vol.51A，pp.1493-1500，2005年3月

討議 [ 谷口望 ( JR 東日本 ) ]

破壊性状は鋼部材の疲労亀裂とのことでしたが，コンクリートにはひび割れ等はないのですか？

回答：疲労試験における馬蹄形ジベル有する試験体の破壊性状は，載荷荷重レベルにより異なっています．普通・軽量コンクリートの種類に関わらず，繰返し回数が概ね 100 万回未満の場合の破壊形状は，ジベル前面でのコンクリートの斜めせん断破壊であり，軽量コンクリートの場合は骨材を含む破壊でした．しかし，繰返し回数が 100 万回を超える場合には，コンクリートの破壊と同時にジベル自身（鋼部材）の疲労亀裂が確認されました．したがって，破壊形状は，鋼部材のみならず，概ねコンクリートの破壊が発生し荷重レベルにより鋼部材の疲労亀裂も生じた結果となっています．

討議 [ 谷口望 ( JR 東日本 ) ]

実際の使用状態では，鋼部材の破壊とコンクリートの破壊のどちらで決まるのですか？

回答：今回の実験における馬蹄形ジベルの設計値は，普通・軽量コンクリートともせん断力振幅値で約 75kN に相当しますが，この値の約 2 倍に相当する 145kN のせん断振幅を載荷した試験体においても，1000 万回で破壊に至らなかったことから，設計荷重レベルでは疲労破壊をおこすものではないと判断できます．

討議 [ 谷口望 ( JR 東日本 ) ]

ずれ止めの破壊が鋼部材で決まるならば，コンクリートの材質（普通コンクリートと軽量コンクリートなど）に関係なく，結果が決まると考えてよいのですか？

回答：馬蹄形ジベルの破壊形状は，鋼部材で決まるとは言えません．せん断振幅の大きさにより破壊形状は異なります．ただし，今回の実験ではコンクリートの材質による馬蹄形ジベルの疲労強度に大きな差異は見られませんでした．また，破壊に至ったせん断振幅値は，設計値に対して十分な安全率を有しています．

討議 [ 市川篤司 ( 鉄道総合技術研究所 ) ]

実験の荷重レベルが実構造物に作用する値に比べて大きいようですが，そのような荷重条件での結果は，実際の挙動と異なる結果を与えるのではないのでしょうか．実際の挙動に近い状態で実験すべきと思いますが，その点はどのようにでしょうか？

回答：本研究の目的は，各種ずれ止めのずれ挙動・破壊形状・せん断耐力を把握することとしている．さらに，各種ずれ止めの疲労強度特性を明らかにしようとするものである．疲労試験結果より，疲労設計に必要なせん断振幅荷重範囲 - 破壊に至る繰返し回数関係（P - N 関係）が明確になったと考えている．本試験結果から，馬蹄形ジベルおよび頭付きスタッドにおいても，疲労試験打ち切り回数（N = 1000 万回）の荷重レベルは，設計値を上回っているものであると判断できる．ゆえにいずれのずれ止めにも実際の荷重レベル（設計値相当）による疲労試験の実施は，必要がないと考えている．

## 論文題目：“高強度スタッドを軽量プレキャスト PC 床版に適用した場合のせん断耐荷挙動”

著者：澤大輔，池尾良一，中村定明，平城弘一  
掲載：Vol.51A，pp.1501-1508，2005年3月

討議 [ 中島章典 ( 宇都宮大学 ) ]

高強度スタッドの高強度の効果はどこにみられるのでしょうか．また，今後検討予定と思いますが，疲労強度もやはり高くなると予想されるのでしょうか？

回答：以下にお答えします．

1. 高強度スタッドの高強度の効果について  
スタッド自身のせん断破壊が支配的となる破壊形式の場合，高強度スタッドの高強度の効果が顕著となることが認められている．具体的には，下記の 2 つの効果と考えられる．  
スタッド自身のせん断耐荷性能に対する効果  
海外規準（ENV，DIN）では限界状態設計法が用いられ，最大せん断耐荷力  $Q_{max}$  を基準にした性能評価が行われている．我が国でも，許容応力度設計法から限界状態設計法に移行する機運にあり，将来的には  $Q_{max}$  を基準に各限界状態の設定がなされていくものと思われる．  
スタッドで破断する破壊形式の場合， $Q_{max}$  はスタッドの軸引張強度相当に達することが報告されている<sup>1)</sup>．つまり，コンクリートの高強度化が進む中で，高強度コンクリート内に埋め込まれたスタッドの材質を，従来の SS400 相当から SM570 相当に高強度化することによって，スタッドのせん断耐荷性能を向上させることができ，より合理的な構造物の設計が可能になる．さらに疲労強度の向上<sup>2)</sup>も期待できる．  
高強度スタッドそれをプレキャスト PC 床版に適用した場合の効果  
鋼合成桁の端部および中間支点上はせん断力が大きくなるため，多数のスタッドを配置する必要がある．しかし，スタッド孔と横締め PC 鋼材が干渉することがあり，端部および中間支点のプレキャスト PC 床版の適用が困難となる．上記で述べたとおり，スタッド自身のせん断耐荷性能を向上させることで，スタッド本数が低減でき，プレキャスト PC 床版をはじめとするプレキャスト部材の適用範囲の拡大が期待できる．

## 2. 高強度スタッドの疲労強度について

スタッドの引張強度の違いを比較した S-N 曲線<sup>2)</sup>を図に示す。これは、平城<sup>3)</sup>によって 2 面せん断試験による疲労試験を対象にして集計した 114 個の結果を再分析し、それに筆者らの高強度軽量コンクリートを用いたプレキャスト版に高強度スタッドを適用した試験結果<sup>2)</sup> (8 個) を重ね合わせたものである。

この図から、スパイラル筋の有無に関わらず、高強度スタッドの疲労強度は、通常のスタッドを使用した既往の研究に比べ高いことがわかる。これは、高強度軽量コンクリートを用いた材料的な影響と、プレキャスト化による構造的な影響、補強効果が考えられる。安定した結果が得られたスパイラル筋で補強した供試体は、せん断耐力範囲に着目すると既往の研究の近似式に対して約 1.4~1.6 倍の疲労強度を、載荷回数に着目すると 100 倍程度の疲労耐久性を有することが明らかとなった。また、スタッドの引張強度別の「疲労設計曲線の傾き  $m$ 」は、スタッドの引張強度が高い方が若干緩やかになり、高サイクル領域において、より優位性が発揮されると言える。

### 参考文献

- 1) 井上一朗：新しいスタッドの現状と展望，鉄鋼技術 (STRUTECH)，pp.20-23，1994.12
- 2) 澤大輔，池尾良一，湯室貴章，平城弘一：高強度軽量プレキャスト PC 床版に高強度スタッドを適用した接合部の疲労耐荷性能，プレレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，2005.11 (投稿中)
- 3) 平城弘一：頭付きスタッドの静的および疲労強度と設計法に関する研究，大阪大学学位論文，1990.2

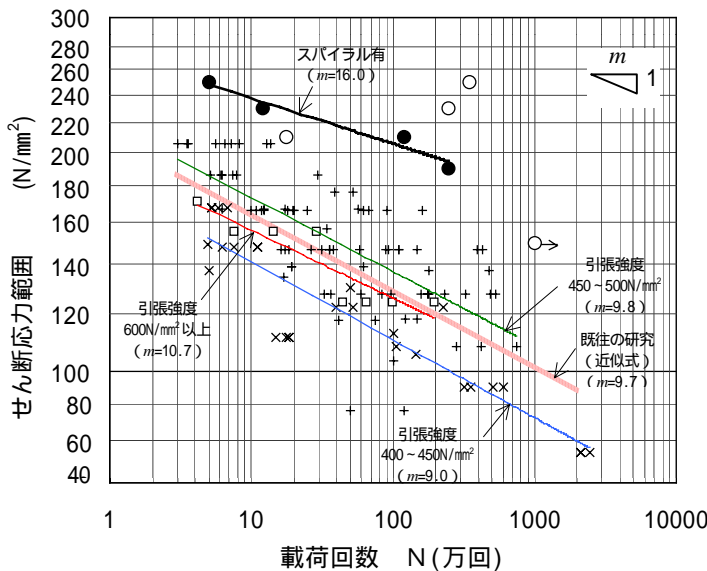


図 スタッドの S-N 曲線 (引張強度別)<sup>2)</sup>

論文題目：“An experimental study on shear force distribution among studs in grouped and ungrouped arrangements”

著者：Eilat・Joseph・Miyar，中島章典，斉木功，中村正行，大江浩一

掲載：Vol.51A，pp.1509-1520，2005 年 3 月

討議 [藤井 堅 (広島大学)]

グループまたは非グループスタッドの各スタッドジベルのせん断分担率を求めています。この分担率を決める要因は何でしょうか。

回答：本研究では、3 列のスタッドに作用する全せん断力を、各スタッドのずれおよびスタッド基部の曲げひずみの大きさに比例して配分すると仮定しています。両者の結果は異なりますが、1 列の場合の結果を参考にすると、スタッド基部の曲げひずみの大きさに比例して、3 列のスタッドのせん断力分担率が決まると考えた場合のほうが精度はよいと予想されます。また、このようなせん断力分布は、試験体のコンクリート部分、鋼部分およびスタッドの剛性に依存して決まると考えられます。

討議 [山口浩平 (九州大学)]

パイプスタッドと通常のスタッドの挙動の差はどうなっていますか？

回答：通常のスタッドに比較して、パイプスタッドの曲げ剛性は大きいですが伸び剛性は小さくなっています。しかし、1 列のパイプスタッドを有する試験の結果を参考にすると、伝達せん断力が最大値に至る前では、せん断力-ずれ性状などは通常のスタッドのそれに類似しています。

討議 [川田成彦 (首都高速道路公団)]

上方から載荷した場合に、各スタッドの耐力の分担割合が上から 50%、30%、20% という結果であったということに対して、載荷荷重をさらに上げて、破壊に至るまでの挙動を確認しておられるのかどうか教えてください。

回答：パイプスタッドを用いた場合、終局状態付近では、パイプの局所変形が避けられないと思われます。実験では終局状態まで荷重を載荷していますが、せん断力の分担率を求めるに当たっては、終局荷重の 1/2 までの範囲で検討いたしました。

論文題目：“土留め壁の H 形鋼芯材を用いた合成壁のシアコネクタに関する押抜き試験”

著者：吉武謙二，前孝一，小川晃，磯田和彦，山野辺宏治

掲載：Vol.51A，pp.1521-1530，2005 年 3 月

討議 [松島 学 (香川大学)]

実施工での精度が出来上がり構造物の耐力低下に影響を及ぼすことはないでしょうか？ どの程度であるのか定量的に教えてください。

回答:一般的にSMWのH形鋼芯材の建て込み精度は土留め法線直行方向で1/200程度である。通常はこの施工誤差を見込んでSMWをセットバックして建込むことにより構造物の有効高さが設計値を満足するようにするため耐力低下はないと考えている。また、スタッドが壁筋などに届かない場合はTヘッドバースタッドなどを用いることや補強筋を入れて対応している。なお、高精度の建て込み技術を開発しており、それを用いた場合1/300程度の実績がある。

討議 [ 山口浩平 (九州大学) ]

合成はり試験からはTヘッドバースタッドと通常の頭付きスタッドで挙動の差は見られるのですか？

回答:はり試験の結果、Tヘッドバースタッドを用いた場合は頭付きスタッドの際に見られたRC部のせん断破壊が防止でき、変形性能が約2倍に増加しました。

論文題目:“鋼・コンクリート合成床版のスタッドに作用するせん断力の性状について”

著者:街道 浩, 渡辺 滉, 橋 吉宏, 田坂裕一,  
松井繁之, 堀川都志雄

掲載: Vol.52A, pp.1531-1540, 2005年3月

討議 [ 山田武正 (三井住友建設) ]

横リブによりスタッドのせん断力が低減したということであるが、低減された力は横リブで負担しているということか。

回答:下鋼板にはスタッドと横リブのみが溶接されていることから、スタッドのせん断力の低減分は横リブが負担していると考えられる。なお、スタッドの配置が離散的であることもあり、スタッドと横リブとのせん断力の分担の比率や、どのスタッドのせん断力をどの横リブが負担しているかなどという定量的な評価は実施しておらず、今後の課題であると考えている。

討議 [ 中島章典 (宇都宮大学) ]

複雑な合成床版の詳細解析ができるようになっているが、任意点のひずみやスタッドの伝達力などの解析結果と実験結果を比較した例はあるか。

回答:試験体のたわみやひずみに関しては、実験結果と解析結果とが整合していることを下記の文献において確認している。ただし、スタッドのせん断力については、実験において正確に測定することは困難であり、直接的な比較を行っていない。今後、せん断力の測定方法について種々の方法を検討していく必要があると考えている。

街道 浩, 渡辺 滉, 橋 吉宏, 松井繁之, 堀川都志雄: 鋼・コンクリート合成床版の輪荷重走行試験および3次元有限要素解析による疲労耐久性評価, 構造工学論文集 Vol.50A, 土木学会, pp.1119-1130, 2004.3.