

## 12. 鋼, 木構造・橋

とりまとめ：尾下里治 (榊横河ブリッジ)

論文題目：“M- $\theta$  Curve of Timber Connection with Various Bolt Arrangements Under Monotonic Loading”

著者：Ali Awaludin, Watanachai Smittakorn, Toshiro HAYASHIKAWA and Takuro HIRAI

掲載：Vol.53A, pp.853-862, 2007 年 3 月

## ◆討議 [渡辺浩 (福岡大学)]

Load-Slip 関係を 2 通り使用される理由と、実際にどちらが良いか。

◆回答：In this study, two different models of load-slip relationship of single bolted connection (exponential and bi-linear models) are proposed to predict the moment-rotation curve of moment resisting timber joints. Results of this study show that both models could accurately predict the experimental results, though special consideration regarding to bolt arrangement as pointed out by this study is required to take into account when the joint rotation exceeds the elastic range. The bi-linear model is preferable since it predicts with better agreement and with relatively less calculation time than the exponential model.

論文題目：“プレストレスを作用させて接合した集成材の弾塑性挙動”

著者：長谷部薫, 鎌田充洋, 薄木征三

掲載：Vol.53A, pp.863-870, 2007 年 3 月

## ◆討議 [佐々木貴信 (秋田県立大学)]

プレストレスを作用させて接合した集成材梁の破壊に至るまでを FEM で評価することが研究の目的にされているが、実験では破壊までいっていないのはどうしてか。解析に入力した応力-ひずみ関係の妥当性を確認するためにも実験は不可欠ではないか。

◆回答：ご指摘のとおり破壊に至るまでの実験は必要です。実験桁に用いた集成材とプレストレス鋼棒は、実構造材を想定した場合の縮小モデルであり、終局時は集成材の曲げ破壊と鋼棒の引張破断が同時に発生するように設定していますが、終局時において鋼棒の破断が予知されたことにより終局荷重の直前まで載荷しています。集成材が鋼棒の断面を変更して実験する必要があると考えます。

## ◆討議 [林川俊郎 (北海道大学)]

①弾塑性解析における集成材のモデル化について説明してほしい。

②降伏荷重  $P_y$  に比較して終局荷重  $P_u$  がかなり大きい値となる理由は何か。

◆回答：①集成材を直交異方性体とし、弾性定数および強度の異方性を考慮するが、集成材を構成するラミナ毎の材料特性は考慮せずに等価弾性係数として解析に用いています。②図-5に示す断面内応力分布のように、プレストレスを作用させることにより集成材の下縁側（引張側）に圧縮応力が生じています。この応力分布に曲げ応力を加算することにより上縁部が圧縮の降伏応力に達するが、この降伏荷重時において、下縁部の応力は未だ圧縮応力となっています。これより、下縁部の引張応力が仮定した曲げ強度に達するときの終局荷重は、プレストレスを作用させない場合より大きい値になると考えられます。また、他の理由として、引張の曲げ強度と降伏圧縮応力の違いによるものと考えられます。

論文題目：“集成材-複数挿入鋼板型ハイブリッド梁の曲げ弾塑性挙動に関する実験と解析”

著者：薄木征三, 千田知弘, 佐々木貴信, 後藤文彦

掲載：Vol.53A, pp.871-879, 2007 年 3 月

## ◆討議 [Ali Awaludin (北海道大学)]

①After reaching the maximum load, the applied load decreases in many stages. Can you explain these load drop and the corresponding type of failure.

②How to determine the Design load. We usually use the basic load as 85% of the maximum load, in this study the applied load still can be sustained even the current load is less than 85% of the maximum load.

◆回答：①After reaching the maximum load, the applied load decreased in many stages because structural failure occurred in separate steps, at several failure positions. This means that for all types of hybrid beam, failure occurred in a ductile manner. Even if the first rib plate on tension side failed, i.e. the glulam with epoxy resin adjacent to the rib failed, the applied load was redistributed and deflection increased again until the next failure position and so on. A sudden vertical drop on the load-deflection curve means that a shear failure occurred in the beam. A more gradual drop indicates a flexural failure. Also, as the number of lower rib plates increases, stress is more equally distributed on the tension side of the hybrid

beam. Based on experiments and the obtained load-deflection curves, it can be said that the larger the number of rib plates on tension side, the greater the number of failure positions, i.e. ductility of this type of beam.

②The value of design load was determined as 1/3 of the maximum load's lower limit for each type of hybrid beam, so it is not so strict as the 85% of the maximum load criterion applied by you.

◆討議 [渡辺浩 (福岡大学)]

- ①挿入枚数が多いと接着剤も多いが、その影響はないか。
- ②何枚挿入するのがよいか。

◆回答：①集成材と挿入鋼板の接着にはエポキシ樹脂接着剤を用いていますが、接着剤の引張強度は本研究で用いたスギ集成材の引張強度よりも大きく、接着層がハイブリッド梁の欠点とはならないと考えます。したがって、挿入鋼板の枚数を増やすことに伴う、接着層（接着剤）の増加が梁の耐荷力を低下させるような影響はなく、むしろ、接着層を増やすことが、木材の節（ふし）などの材質の不均一性を抑えることにつながり、耐荷力のばらつきを少なくできると考えます。②集成材に鋼板を挿入接着することで、曲げ耐荷力を向上させたハイブリッド梁では、挿入する鋼板の枚数が多いほど、延性的な荷重-変位関係を示します。このことは、梁断面の幅方向の引張応力分布が、鋼板が1枚のときには、荷重分担の大きい鋼板の周辺に応力が集中するのに対し、曲げ剛性を等しくして鋼板枚数を増やしたときには、荷重分担が分散され鋼板周辺の集成材や接着層への応力の集中が緩和されることに起因するものと考えます。したがって、挿入鋼板の枚数が多いほど、梁の曲げ性能が向上すると考えられますが、実用的な鋼板枚数については、断面寸法や部材の要求性能、作業性を考慮して決定しなければならないと思います。

論文題目：“鋼板挿入集成材梁の弾塑性有限要素解析”

著者：千田知弘，後藤文彦，薄木征三，佐々木貴信  
掲載：Vol.53A, pp880-887, 2007年3月

◆討議 [渡辺浩 (福岡大学)]

解析 (取り組み) の目的は何か。また、終局状態を知りたいのではないか。

◆回答：本研究における数値解析は、集成材の引張側の破断までの挙動を軸方向ヤング率と降伏点を与えるだけで FEM 解析でどれだけ追えるか、また、その結果を利用して、鋼板挿入集成材梁の集成材引張側の破断までの挙動、並びに実験を行うだけでは得られない鋼板と集成材境界面などの局所的な応力状態を FEM 解析で得られないか、という目的で行いました。

よって、終局までの挙動は考慮していません。また、破断から終局までの挙動のばらつきは、集成材のヤング率のばらつき以上に非常に大きく、さらに、ヤング率と破断から終局までの挙動にはっきりとした相関関係は見られませんでした。たとえ終局までの挙動を追ったとしても、破断までの挙動を解析した本研究ほどの精度は得られないと思います。

論文題目：“スギ素材を活用した積層桁車道橋の提案”

著者：渡辺浩，小松幸平  
掲載：Vol.53A, pp888-895, 2007年3月

◆討議 [尾下里治 (榊横河ブリッジ)]

防腐処理を行っていないようだが、耐用年数はどれくらいか。

◆回答：耐用年数は 30 年程度が想定されています。今回の事例では丸太の径が大きいため、人工乾燥ができないわけではありませんが、非常に非効率となることが想定されました。このため、含水率管理を行うことを前提に人工乾燥は行っていません。また乾燥を省略したため防腐薬剤の加圧注入も効果が期待できないため、塗布としています。今のところ大きな割れもなく、供用後も乾燥はあまり進行していないようです。一方で漏水や腐朽もうかがえず、健全であると考えられています。

論文題目：“小規模木桁橋の荷重分配に関する研究”

著者：上月裕，渡辺浩，山尾敏孝  
掲載：Vol.53A, pp896-901, 2007年3月

◆討議 [尾下里治 (榊横河ブリッジ)]

本橋のような小規模な木橋では、2 次部材による荷重分配を考慮せず 1-0 分配のような簡単な設計でよいのではないか。

◆回答：木橋とコンクリート橋等との大きな違いは、部材の腐朽対策にあるといえます。木橋の腐朽対策は、防腐対策と併せて、水分が滞留し易い接合部を減らすことが必要であり、このためには、橋の挙動から部材の要不要を見極めることが重要であると考えます。しかしながら、木桁橋に関しては、構造が簡易であるがゆえに、このような検証がなされることは少なく、挙動が明らかでない点があるのが現状です。このようなことから、今回の研究は、将来的な木桁橋全般に対する合理的な形状検討を視野にいれた基礎的研究として、地覆等の部材の橋全体の挙動に与える影響の検討を行ったものです。

論文題目：“斜角を有する角形鋼管を用いた床版橋の載荷試験”

著者：高木優任，本間宏二，後藤信弘  
掲載：Vol.53A, pp902-913, 2007年3月

◆討議 [尾下里治 (榎横河ブリッジ)]

本橋のような短支間長で薄い版構造は、床版と同じと思われるので、疲労や移動輪荷重試験による確認が必要ではないか。

◆回答：ご指摘の通り、提案した角形鋼管を用いた床版橋は、支間 15m 以下の短支間橋梁に適用するものであり、全応力成分に占める活荷重成分が大きいこと、および、舗装を通してではあるが鋼管の上に直接輪荷重が載ることなどから、耐久性を確保するためにはその疲労強度を明らかにする必要があると考えている。このような観点から、本報告では触れなかったが、別途、支間 6m の実大モデルを用いた定点荷重の疲労試験、ならびに構造要素に着目した部材の疲労試験を実施し、その耐久性を確認している。詳細については文献を参照いただきたい。また、実構造での現象を再現する移動荷重(輪荷重走行)疲労試験についても、実施するべく検討をしているところである。

参考文献：高木優任，本間宏二，後藤信弘：角形鋼管を用いた床版橋の定点荷重疲労試験，鋼構造年次論文報告集，第 13 巻，pp.119-126, 2005.11

論文題目：“鋼 I 桁橋の信頼性指標  $\beta$  の評価と部分係数に関する基礎検討”

著者：村越潤，清水英樹，有馬敬育  
掲載：Vol.53A, pp914-925, 2007年3月

◆討議 [尾下里治 (榎横河ブリッジ)]

$\beta$  を算出する上で座屈耐荷力に対する確率変数の評価が重要と思われませんが、今後、現行の耐荷力曲線を見直す予定はありますか。

◆回答：見直しの予定の有無は言えないが、耐荷力曲線については前提となる実験・解析結果を踏まえるとともに、安全余裕の取り方など特性値及び部分係数の設定の考え方を整理した上で、それに応じて適宜検討していくことが必要と考えている。

◆討議 [山口隆司 (大阪市立大学)]

求められた部分係数，信頼性指標  $\beta$  の精度アップのために、今後どのような展開を予定されているか教えてください。(例えば、更なるデータの蓄積，用いている確率分布形の変更) また、この研究の将来の展開を教えてください。(求められた  $\beta$  が実際の橋梁の  $\beta$  とどの程度一致しているのかを検討するこ

とを予定されていますか。)

◆回答：現状において、構造物の絶対的な信頼性指標  $\beta$  の値の評価は困難であり、部分係数設計法の適用にあたって、現行の設計法における構造物の安全性を相対的に比較・評価する上での指標として  $\beta$  を用いている。

御質問の点に関して、統計データの蓄積は継続的に行うことが重要と考えているが、現時点で信頼性指標  $\beta$  の精度向上を図ることに重きを置いた研究の展開は考えていない。

論文題目：“最適化手法を用いた溶融亜鉛浸漬中の鋼平板の温度分布推計”

著者：今野貴史，岩崎正二，出戸秀明，宮本裕，二上輝彦  
掲載：Vol.53A, pp926-935, 2007年3月

◆討議 [奥井義昭 (埼玉大学)]

浸漬速度の違いによって  $\alpha$ ， $\kappa$  の値に違いが出る理由について教えてください。

◆回答：浸漬速度の違いによって熱拡散率  $\kappa$  と熱伝達係数  $\alpha$  の値に違いが発生する理由は、以下の通りです。①熱拡散率  $\kappa$  は初期の温度上昇の傾きに影響を受けるため、浸漬速度の違いによりその値に差が出ます。熱伝達係数  $\alpha$  も同様に影響を受けますが、熱拡散率  $\kappa$  ほどの値の差は生じません。②浸漬速度が速いと鋼板の温度上昇の傾きが大きくなるため、熱拡散率  $\kappa$  が大きくなります。これに対し、浸漬速度が遅いと鋼板の温度上昇の傾きが小さくなるため、熱拡散率  $\kappa$  が小さくなり、差が生じます。③板厚が薄い場合は、鋼平板内部も早く温度上昇しやすいため、浸漬速度の影響を受けて熱拡散率  $\kappa$  の値に差が大きくなります。しかし、板厚が厚くなるにしたがって、鋼平板内部は温度上昇が鈍くなるため、浸漬速度の影響をあまり受けることもなく、熱拡散率  $\kappa$  の値の差は小さくなります。

論文題目：“直接基礎を有する鋼ポータルラーメン橋の設計と剛結部構造の合理化”

著者：芦塚憲一郎，宮田弘和，坂手道明，木曾収一郎，栗田章光  
掲載：Vol.53A, pp936-945, 2007年3月

◆討議 [奥井義昭 (埼玉大学)]

①下フランジのめり込み量は計測していれば教えてください。  
②スタッドを使用する場合に比べ、コストの低減効果はいくらくらいでしょうか。

◆回答：①下フランジのめり込み量は、供試体により異なり



ますが、上フランジの拔出し量が 1.5~2.0mm (PBL のせん断力が最大となる) に達するとき 0.3~0.5mm, 最大荷重載荷時において 0.7~1.7mm 生じます。参考に, TYPE2-1(2) 供試体における荷重と下フランジのめり込み量の関係を図-1 に示します。

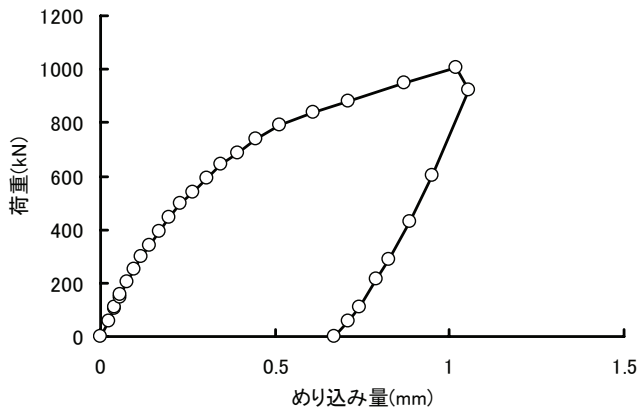


図-1 荷重と下フランジのめり込み量の関係

②本橋の場合, 1 箇所当たりの 65φ の孔あけ作業の費用と 1 本当たりのスタッドの溶接費用 (材工共) を基に, 本構造とスタッドを使用した場合の施工費の比は概ね 1:3 程度であると推定されます。また, これらの差額から, 上部工全体工費に対して約 1%程度のコストダウンがなされたと考えています。なお, スタッドを使用する場合は, 製作過程において何度も部材を反転しなければならないので作業性が悪く, 作業時の危険も伴います。本構造はそのような特別な作業を必要としません。このように, 本構造はスタッドを使用する場合に比べて経済性だけでなく, 特に製作の合理化の面で優れています。

◆討議 [藤井正美 (トピー工業株)]

施工ステップによると, 鋼桁の架設・床版打設後に剛結部コンクリートを施工するようになっていきます。このような施工手順ですと, 剛結部コンクリートの打設中あるいは若齢時に, 主桁に一樣温度変化が生じた場合に, これが剛結部コンクリートに影響を及ぼすのではないかと考えられます。この点に関して何かご検討あるいは工夫を実施されたのであれば教えてください。

◆回答: 本橋では, 桁の橋軸方向移動に対する拘束条件を可動から固定へ切り替えできる仮支承を用いました。床版施工が完了するまでは拘束条件を可動としていますが, 剛結部のコンクリートを施工するときは拘束条件を固定に切り替えて温度変化による桁の伸縮が生じないようにし, 養生中の剛結部コンクリートに悪影響を与えないように配慮しました。

論文題目: “中央径間長 400m および 600m 鋼製斜張橋の低塔化が終局強度特性に与える影響”

著者: 野上邦栄, 気仙祐輔, 山沢哲也, 森園康之, 長井正嗣

掲載: Vol.53A, pp946-955, 2007年3月

◆討議 [奥井義昭 (埼玉大学)]

低塔化することによって斜張橋全体の剛性が低下するようには思いますが, たわみ制限は満足しているのでしょうか。

◆回答: ご指摘の通り, 最適塔高を有する 400m, 600m 斜張橋に対して低塔化することによりたわみが増大し, 例えば道示のたわみ制限を満足しなくなります。したがって, 本論文では構成要素の発生応力とともに主桁の鉛直たわみの低減を目的に中間橋脚を側径間に設置し, たわみ制限に近づくよう試設計しております。しかし, 必ずしも規定値を満足していません(参考文献)。たわみ規定値に収めるように修正することは可能ですが, 低塔斜張橋の実現の可能性検討という本論文の主旨には影響しないと考えております。なお, 長大斜張橋のたわみ許容値については合理的な設計の立場から見直しを検討する必要があります。

参考文献: 森園, 野上, 長井, 藤野: 塔高の低い鋼斜張橋の試設計と適用性に関する比較考察, 橋梁と基礎, 2005.12

◆討議 [清水英樹 (大日本コンサルタント株)]

鋼斜張橋を低塔化したときの最適な側径間と中央径間の割合は, 中央径間が大きくなる傾向でしょうか。また, その時の割合はどの程度でしょうか。

◆回答: 斜張橋の試設計をするにあたり, 基本条件として径間割りについては側径間長/中央径間長=1/2.1~1/2.2 に固定し, 中間橋脚設置の有無, 主塔及び主桁の応力に合わせた材質を変化させて試設計しております。本論文では, 低塔斜張橋の実現の可能性検討を主な目的としたため, 特定の径間割りを対象にしておりません。そのため, 具体的な最適径間割りについては検討していません。今後, ご指摘のような径間割りを含めた詳細な最適設計を実施して, 低塔鋼製斜張橋を現実のものにできればと考えております。