

FRP 永久型枠を用いた RC 床版の静的強度・疲労耐久性に関する研究

A STUDY ON STATIC STRENGTH AND DURABILITY OF RC SLABS
STIFFENED BY FRP PERMANENT FORM松井繁之^{*} 石崎 茂^{**} 久保圭吾^{***}

By Shigeyuki MATSUI, Shigeru ISHIZAKI, Keigo KUBO

For the last two decades, reinforced concrete slabs of highway bridges have suffered from damage and deterioration due to increased traffic volume and wheel loads. Therefore, it is necessary to design and fabricate more durable decks. Decreasing in the number of field workers such as carpenters makes more simple construction method for decks desirable. Under these circumstances, the authors are intending to develop a permanent form of fiber reinforced plastics (FRP), because of the material advantage of FRP. That is, (1) it is very light and can be fabricated at a shop, (2) it has no corrosive problems, and (3) the elastic modulus of FRP is almost equal to that of concrete. In order to confirm the improvement of RC slabs using the form in static strength and durability due to a composite action between FRP and concrete, a series of tests was carried out including fatigue test by using wheel running machine. This paper describes the results of these experimental studies and discusses application of the forms to actual highway bridges.

Key Words: composite slab, fiber reinforced plastic, permanent form

1 まえがき

近年の自動車交通量の飛躍的な増加と、車両の大型化に伴う交通荷重の増大によって、直接輪荷重を受ける道路橋 RC 床版は、きわめて過酷な条件下に置かれ、ここ 20 数年、抜け落ちを含む種々の劣化を呈してきた。このため、既存橋梁の RC 床版の補修、補強を必要とし、従来、鋼板接着や縦桁増設による補強工法が定着してきた。また、損傷が著しいものについては、プレキャスト床版、グレーチング床版、および鋼コンクリート合成床版などによる打ち換えがなされてきた。これらの打ち換え工法においては、通常、交通を解放したまま施工されることが多く、かつ、単位重量が大きい重機の使用が不可欠であり、施工法に制約を受けてきた。

一方、新設橋梁の RC 床版においては、床版厚の増加や鉄筋の許容応力度の低減によって前述の劣化、破損問題の防止に対処してきたが、死荷重の増大が大きな問題となっている。

このような観点から、新設橋梁のみならず既設橋梁においても、施工が容易で、軽量かつ耐久性に優れた床版の開発が望まれている。さらに、最近では、型枠材料や型枠技術者の不足が社会的な問題となってきた。

*	工博 大阪大学教授	工学部土木工学科	(〒565 大阪府吹田市山田丘 2-1)
**	(株)酒井鉄工所	橋梁設計部 部長	(〒590 大阪府堺市出島西町 3-1)
***	(株)酒井鉄工所	橋梁設計部	(〒590 大阪府堺市出島西町 3-1)

おり、道路橋RC床版の施工法の改善が急務となってきた。

このような状況のもとで、今回、支保工不要の繊維強化プラスチック（以下FRPと呼ぶ）製永久型枠を用いた合成床版を開発した。図-1に、このFRP永久型枠の概念図を示す。FRP型枠には、コンクリート打設時の支保工を省略できる程度の剛性を確保するため、床版支間方向に補強リブを配置した。ただし、この補強リブ高が大きくなり、下側配力筋と交差するため、交差部に切り欠きを設け、そこに下側配力筋を配筋することとした。この切り欠きによる断面欠損により補剛剛度が低下するため、下側配力鉄筋設置後、リブ上に、補剛リブ付きの剛性向上のためのキャップを接着剤（2液型ウレタン系）により取り付け。FRPの型枠幅は、製作性・施工性を考えて、リブ3～5本を含んだ約1mを最大とし、一体的に引抜き工法¹⁾で製作する。隣接型枠とは連続性を確保できる幅でラップさせ、接着剤とリベットにより接合する構造とした。

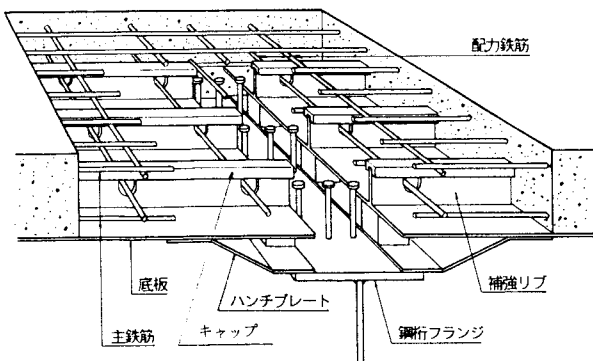


図-1 FRP永久型枠の概念図

このFRP永久型枠を道路橋の鉄筋コンクリート床版に使用した場合、①引張強度が高く、弾性係数がコンクリートのそれとほぼ等しいため、RC床版と合成され、RC部分のひび割れ進展の抑制効果による耐久性の向上が期待できる、②軽量のため大型の重機が不要で現場施工が容易となる、③耐水性、耐食性に優れた材料であり維持管理が容易である、④型枠が工場製作となるため、支保工や型枠の現場作業が省略だけでなく、品質管理や現場の施工管理も容易で現場工期の短縮が可能である、⑤木材や型枠技術者の不足が解消できる、⑥着色が自由で環境との調和が図れる、などの利点が考えられる。本研究では、このFRP永久型枠を実橋床版へ適用するため、本型枠とRC床版との合成構造としての構造特性、静的基本強度、および疲労耐久性を確認するため一連の実験を実施した。以下にこの実験結果について報告するとともに実橋床版への適用性について検討する。

このFRP永久型枠を道路橋の鉄筋コンクリート床版に使用した場合、①引張強度が高く、弾性係数がコンクリートのそれとほぼ等しいため、RC床版と合成され、RC部分のひび割れ進展の抑制効果による耐久性の向上が期待できる、②軽量のため大型の重機が不要で現場施工が容易となる、③耐水性、耐食性に優れた材料であり維持管理が容易である、④型枠が工場製作となるため、支保工や型枠の現場作業が省略だけでなく、品質管理や現場の施工管理も容易で現場工期の短縮が可能である、⑤木材や型枠技術者の不足が解消できる、⑥着色が自由で環境との調和が図れる、などの利点が考えられる。本研究では、このFRP永久型枠を実橋床版へ適用するため、本型枠とRC床版との合成構造としての構造特性、静的基本強度、および疲労耐久性を確認するため一連の実験を実施した。以下にこの実験結果について報告するとともに実橋床版への適用性について検討する。

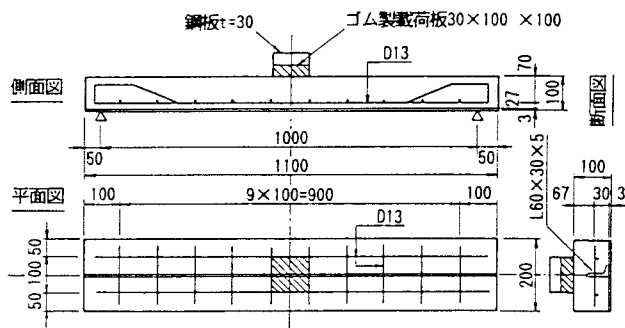


図-2 供試体

2 はりとしての構造特性

2.1 FRPの表面処理と合成効果

FRPをRC床版の型枠として使用するが、コンクリート硬化後も、鉄筋コンクリートとそれを合成させて輪荷重に抵抗させるためには、FRPのコンクリートとの接触面における表面処理状態が重要な要素となる。そこで、この表面処理方法についての基礎的な調査を目的として、FRPのコンクリート接触面を、①無処理、②プライマー塗布、③ブラスト処理、④砂接着、⑤FRP格子接着（約5mmのFRPで50mm×50mmの格子をつくり、それをFRPの底板に接着したもの）の5種類に変えた簡単な供試体を用いて静的載荷試験を

表-1 供試体名と破壊荷重（単位：kN）

供試体名	型枠表面処理	破壊荷重	平均値	RCとの比
A	1 無処理	51.2	50.8	1.62
		50.4		
B	3 プライマー塗布	51.9	50.9	1.62
		49.8		
C	5 ブラスト処理	57.8	58.7	1.87
		59.6		
D	8 砂接着	79.4	77.4	2.47
		75.3		
E	10 FRP格子接着	64.3	64.5	2.06
		64.7		
F	RCのみ	32.1	31.3	1.00
		30.5		

実施し、比較検討を行った²⁾。この実験では、比較のためにRCのみの2体についての破壊実験も実施した。供試体の構造を、図-2に示す。

本実験における各供試体名と破壊荷重は、表-1に示すとおりであり、砂接着のものは、他のものと比べて、最も高い耐荷力を示し、RCのみのものの約2.5 倍の耐荷力となることがわかった。また、プライマー処理と無処理の供試体は、ほぼ等しい荷重で破壊しており、プライマーを塗布した効果は、ほとんど見られないが、これらの供試体でも、RCのみのものと比べて約1.6 倍の耐荷力を有していることがわかった。ブラスト処理したものと、FRP格子接着したものは、砂接着したものと無処理のものの中間となった。

各供試体の支間中央での荷重-たわみ曲線の包絡線は図-3に示すとおりである。これより、この型枠を使用したいずれの供試体でも、RCのみの供試体に比べて見かけの弾性係数が向上していることがわかった。とくに、砂接着の供試体は、無処理のものに比べて80%、RCのみのものと比べると60%程度に変形が抑制されていることがわかる。また、引張側コンクリート無視のRC断面に、FRP型枠を合成させた断面剛性により計算した荷重-たわみ曲線の傾きは、実験値より小さくなった。これは、型枠により、コンクリートのひびわれの進展が抑制されたためと考えられる。

図-4は、支点位置における型枠とコンクリート間のずれの分布を示したものである。この図から、無処理のものやプライマー処理のものは、載荷初期からずれが発生し、RCの破壊荷重以降で急速に増大した。また、ブラスト処理とFRP格子接着したものは、RCばりの破壊荷重程度では、ずれは発生しないが、これを超えるとずれが発生し荷重の増大とともに進展した。砂接着のものは、破壊直前まで、ずれは全く発生しなかった。

以上の結果から、FRPのコンクリート接触面の処理方法として、砂接着が最も有効であることがわかった。

2.2 はりとしての曲げ特性

FRP永久型枠を用いたRC床版の主鉄筋方向と配力鉄筋方向の曲げ特性を調べるため、図-5に示すように、補強リブ2本を含む断面を床版支間方向に取り出したものと、その直角方向に取り出した

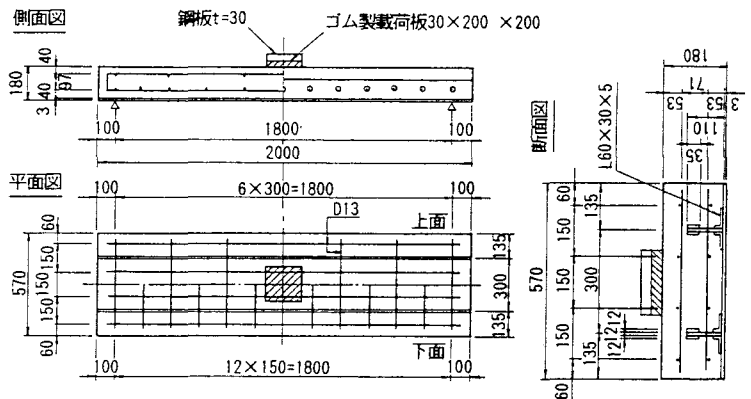


図-5 主鉄筋方向供試体

たものの2種類の供試体を作成し、曲げ耐荷力試験を実施した³⁾。供試体は、それぞれについて、型枠の表面に砂を接着したもの、および無処理のもの各2体ずつ計8体とした。このうち主鉄筋方向供試体については、合成ばりとしての実験に先立って、型枠としての曲げ試験を実施した。その結果、コンクリートの死荷

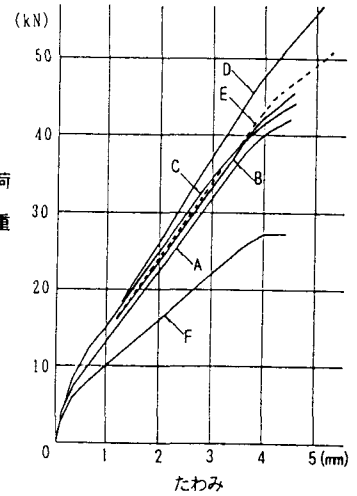


図-3 荷重-たわみ曲線

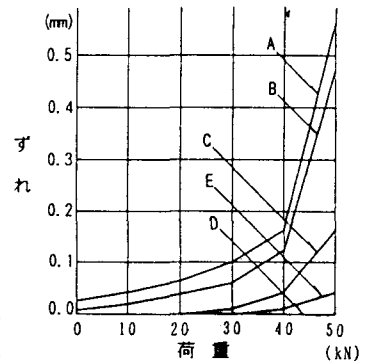


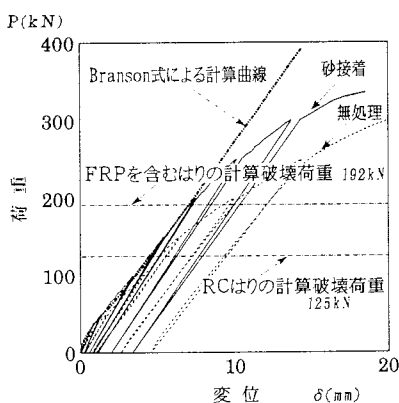
図-4 支点上のずれ

重に相当する曲げモーメントに対して、変位、ひずみともほぼ完全な弾性挙動を示し、中央の最大たわみは、材料試験結果による弾性係数を用いて計算できることがわかった。死荷重相当の荷重によるたわみは、支間長の約1/1000であり、支保工として十分な剛性を有していることを確認した。

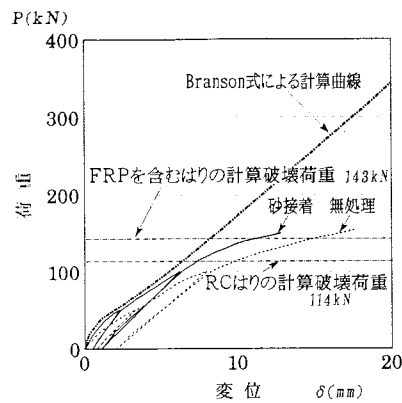
図-6は、合成ばりとしての主鉄筋方向、および配筋方向供試体の支間中央における荷重-たわみの履歴曲線である。RCばりの計算破壊荷重、FRPを含むばりの計算破壊荷重、および Branson式により計算した変位曲線を併記している。砂接着の供試体は、両方向とも、RCのはりの計算破壊荷重程度までは、FRP型枠を含んだ剛性で Branson式により求めた曲線とほぼ一致している。一方、無処理のものは、これらより剛性が小さくなっており、型枠とコンクリート間で、ずれが生じているものと思われる。砂接着のものは、型枠とコンクリート間の付着強度が高いため、ずれが発生せず、FRP型枠が破壊直前までコンクリートと合成されているものと考えられる。

各供試体の破壊荷重は、表-2に示すとおりで、RCばりの計算破壊荷重に対して、主鉄筋方向では、約2.45~2.78倍、配筋鉄筋方向では、約1.36~1.51倍であり、砂接着のものの耐力が大きくなった。また、主鉄筋方向供試体では、FRPを含むばりの計算破壊荷重より大きくなった。これは、FRPリブが、変形を拘束しているためと考えられる。

図-7は、主鉄筋方向供試体の支間中央断面における、コンクリート上面、引張鉄筋、およびFRP型枠下面の荷重-ひずみ曲線の包絡線を示したものである。この図から、鉄筋が降伏するまでは、はり全体がほぼ弾性挙動を示し、鉄筋の降伏後もFRP型枠が引張強度を負担するため、大幅な余剰強度が期待できることがわかる。下側鉄筋の降伏荷重を比較すると、砂処理したものの(A)は、無処理のもの(B)に比べて約50%降伏荷重が向上した。これは、型枠との合成効果の違いによるものと考えられる。



(a) 主鉄筋方向供試体



(b) 配筋筋方向供試体

図-6 変位履歴曲線

表-2 供試体名と破壊荷重(単位: kN)

供試体名	リブ配置	型枠表面処理	破壊荷重	平均値	RCとの比	
A	1 2 3 4	スパン方向	砂接着	335	347	2.78
				359		
				303		
B		無処理	310	307	2.45	
鉄筋コンクリートのみの計算破壊荷重				125	1.00	
FRPを含むばりの計算破壊荷重				192		
D	7 8 9 10	直角方向	砂接着	150	173	1.51
				195		
E		無処理	150	155	1.36	
			159			
鉄筋コンクリートのみの計算破壊荷重				114	1.00	
FRPを含むばりの計算破壊荷重				143		

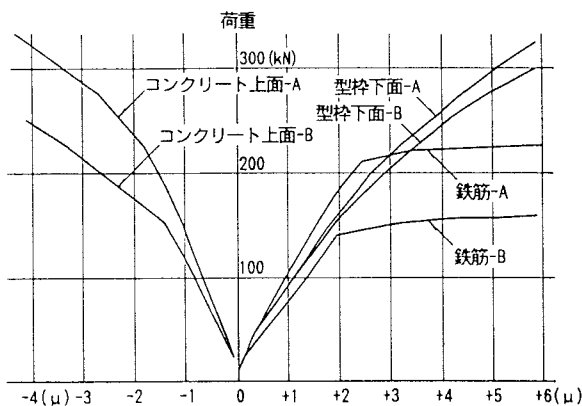


図-7 荷重-ひずみ曲線

図-8は、各荷重段階における主鉄筋方向
向供試体の、支間中央断面のひずみ分布を
示している。この図から、コンクリート、
圧縮側鉄筋、引張側鉄筋のひずみ分布と、
FRP型枠のひずみ分布を比較すると、無
処理の供試体では、型枠とコンクリート間
のずれの発生に伴ない不連続となるが、砂
接着の供試体では、200kNの荷重に対し
ても、なお断面内でほぼ直線分布しており、
合成断面として挙動していることがわかる。

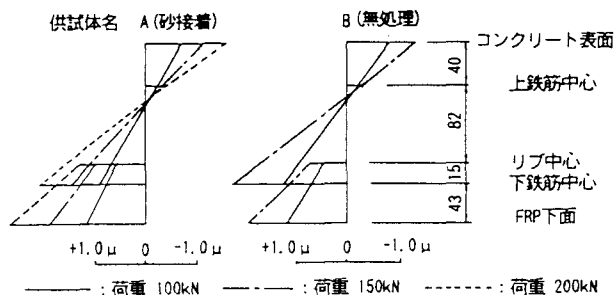


図-8 断面内におけるひずみ分布

以上の実験より、FRP永久型枠を用いた合成床版では、型枠表面が無処理の場合でも十分大きく耐荷力が向上することが分かった。これは、リブの剛性と、それによるコンクリートの拘束効果によるものである。また、型枠表面を砂処理すると、最終破壊荷重まで合成効果が保持され、主鉄筋方向、および配力鉄筋方向ともRCばりに比べ高い剛性が得られることがわかった。FRP型枠を含む合成断面で、かつ、引張側コンクリートを無視した断面で剛性を評価してよいことが判明した。

3 版としての静的耐荷力

ここでは、FRP永久型枠を用いたRC床版の実物大模型による静的載荷試験を実施し⁴⁾、版としての静的強度、および、その耐荷性状について検討を加える。

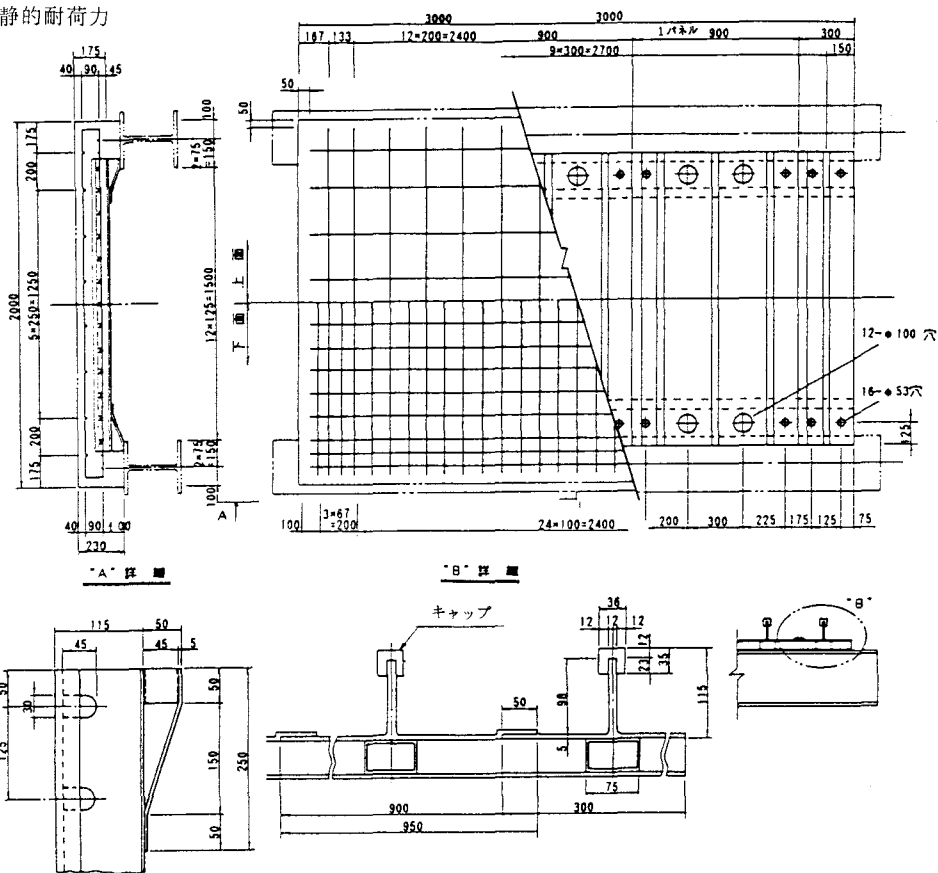


図-9 供試体詳細図

FRP型枠の形状、および鉄筋配置は、図-9に示すとおりで、コンクリート打設による死荷重たわみを床

版支間の1/250 以下とするため、床版支間方向に30cm 間隔で補強リブを配置した。供試体の製作手順は、中心間隔1.8m に設置した鋼桁上にFRP 型枠を取り付け、鉄筋を配置した後コンクリートを打設した。供試体の製作数は、型枠のコンクリート接触面を砂接着により表面処理したもの2 体と、無処理のもの2 体の計4 体とした。また、供試体構成材料の力学特性は、表-3 に示すとおりであった。橋軸方向（床版支間直角方向）の載荷位置は、供試体の中心線上と、中心線に最も近いFRP リブの直上（中心線より15cm の位置）とした。載荷面は、2 本のタイヤによる接地面を模し、20cm ×20cm の載荷板 2 枚を橋軸直角方向に10cm 離して配置した。

3.2 実験結果と考察

図-10 に、各供試体の支間中央における荷重-たわみの包絡線を、床版の全断面を有効とした場合と引張側コンクリートを無視した場合の、直交異方性版のたわみの理論値とともに示したものである。この図から、はりモデルの場合と異なり、版モデルにおいては、砂接着したものの方が無処理のものより若干の剛性の向上は認められるが、有意な差は認められないことがわかる。これは、版としての2次元挙動によるリブのコンクリートに対する拘束効果で、型枠とコンクリート間のずれが抑制されるためと考えられる。また、版剛性自身は、通常の床版の設計荷重8t（T 荷重後輪）程度では、コンクリートの全断面を有効とした理論値に近い剛性を示し、さらに、この設計荷重よりもはるかに大きい400kN から800kN 程度の荷重に対しては、FRP 型枠を合成した断面で引張側コンクリートを無視した理論値程度の剛性となることが分かった。

表-4 は、各供試体の破壊荷重を示したものである。破壊後の供試体を切断し観察したところ、破壊状況は、載荷板直下で載荷板の形状どおりに陥没し、載荷板端から約35° の角度で、押し抜きせん断破壊をしていた。コンクリートのせん断破壊は、載荷板端からFRP リブのキャップ部分へと進行するため、破壊面の角度は、FRP リブの間隔に影響されると考えられる。そこで、松井が提案したRC 床版の押し抜きせん断耐荷力算定式⁵⁾の力学モデルにFRP 型枠の合成効果による中立軸の移動を考慮し、かつ、破壊面の角度を35° として、RC 床版の押し抜きせん断荷重を求めると、1250kN（45° とした場合1115kN）となり、実験の破壊荷重とよい一致を示した。ただし、本供試体と同様の配筋をしたRC 床版のみの、押し抜きせん断算定強度は、1002kN であり、2.2のはり供試体での曲げ強度の向上度、約2.5倍に比して、向上の割合が少ないことが判明した。

以上の実験結果より、FRP 型枠は、床版と合成され版の剛性に寄与するが、床版の断面剛性、および押し抜きせん断強度いずれについても、リブによるコンクリートの拘束効果が卓越し、砂接着と無処理の供試体で有意な差異は認められなくなることが判明した。また、FRP 永久型枠を用いた合成床版の静的強度は、RC 床版と同様、押し抜きせん断強度に支配され、この押し抜きせん断耐荷力は、松井の算定モデルの若干の修正によって精度よく評価できることがわかった。

表-3 材料特性(平均値, 単位:N/mm²)

	強度	弾性係数
コンクリート	$\sigma_{ck}=43.7$	3.33×10^4
FRP	$\sigma_t=415$	2.33×10^4
鉄筋	$\sigma_y=353$	2.14×10^5

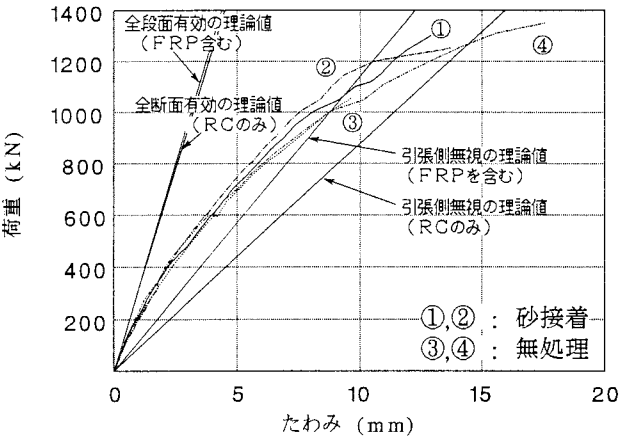


図-10 載荷点直下の荷重-たわみ曲線

表-4 供試体名と破壊荷重 (単位:kN)

供試体	表面処理	破壊荷重	計算値	載荷点
①	砂接着	1300	1250 (35° :FRPを含む)	リブ間
②		1250	1115 (45° :FRPを含む)	リブ上
③	無処理	1060	1002 (45° :RCのみ)	リブ上
④		1352		リブ間

4 疲労耐久性

4.1 概要

R C床版の疲労耐久性を検証するには、実橋の荷重状態、すなわち、車輪を移動させる方法で耐久性試験を実施する必要がある。そこで、本研究では、実橋の破壊形態を再現できる輪荷重走行試験機⁶⁾により、実物大床版の疲労試験を行った⁷⁾。この装置の概要を図-11に示す。輪荷重載荷幅は、試験機の制約から、実際の車輪の接地面積 $20\text{cm} \times 50\text{cm}$ を60%に縮小した $12\text{cm} \times 30\text{cm}$ ものとした。実験に用いた供試体は、静的試験のものと同様とし、FRPのコンクリート接触面を、無処理としたもの、砂を接着したもの、各2体とした。載荷の繰り返し回数と荷重は、始めの2体（無処理、砂接着、各1体）については、 140kN で100万回までとした。この載荷計画は、輪荷重の実測結果と既往の実験結果より、50年間の実交通荷重累計を、最大輪荷重 140kN に対する等価回数として求めると約80万回となることから、実橋床版の耐久性を検証するのに十分と判断できる。この載荷で異常が認められない場合は、破壊性状を確認するため、 180kN に荷重を上げ載荷を継続した。後の2体については、載荷荷重を変えることによる疲労劣化速度の違いを調べるため、最初の100万回まで 150kN で載荷した。この載荷後、水の影響を調べるため、荷重は 150kN のままで床版上面に $180\text{cm} \times 250\text{cm}$ の範囲で水を張り載荷を継続した。

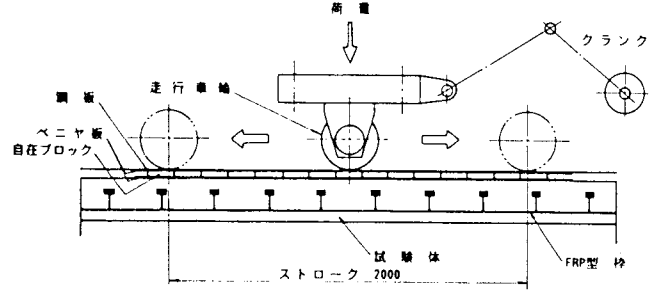


図-11 載荷装置の概要

繰返し載荷中の、所定の回数ごとに行った測定項目は、たわみ、各構成部材のひずみとした。同時に、床版下面のFRP型枠をハンマーでたたき、その音により判断したFRP型枠とコンクリートのはく離状況、および床版上面のひびわれ状況も観察した。

繰返し載荷中の、所定の回数ごとに行った測定項目は、たわみ、各構成部材のひずみとした。同時に、床版下面のFRP型枠をハンマーでたたき、その音により判断したFRP型枠とコンクリートのはく離状況、および床版上面のひびわれ状況も観察した。

4.2 実験結果

図-12は、各載荷回数毎の床版中央における荷重-たわみ曲線の変化状況を、理論たわみ曲線とともに示したものである。この図において全供試体とも、初期荷重に対する変形曲線の傾きは、測定誤差を勘案すると、FRPを含む床版の全断面を有効とした理論曲線とほぼ一致していると言える。

図-13は、床版中央載荷時における床版中央でのたわみ-サイクル曲線を示す。図中には、FRP型枠を合成した断面で、コンクリートの全断面を有効とした場合と引張側コンクリートを無視した場合の理論曲線を併記した。これらの図で、輪荷重載荷開始後、約2000回という短期間で、活荷重たわみ、残留たわみともに急増するが、これは、初期ひびわれの発生のためと考えられる。全供試体とも、1万回程度で、たわみは停留し、100万回の載荷に対して、活荷重たわみは、ほとんど変化しておらず無処理、砂接着の両床版とも実橋床版に使用しても十分安全であるといえる。この時の活荷重たわみの値は、全供試体とも、引張側無視の理論値と全断面有効の理論値の間に位置しており、RCのみの場合（図-14に示す⁶⁾）のように、漸増傾向は見られなかった。これは、FRP型枠がひびわれ発生、ならびに、ひび割れの動きを抑制しているためと考えられる。この効果は、FRPの表面の付着性にさらに影響されることが、活荷重たわみの大きさが、無処理の供試体より、砂接着のものの方が小さいことにおいて認められる。100万回載荷後、荷重を 180kN に上げると、無処理の供試体は、110万回あたりから活荷重たわみが急増し始め、破壊に至ったが、砂接着の供試体は、活荷重たわみはほとんど変化せず250万回載荷後も床版は健全であった。また、水を張ると、無処理の供試体は、直後から床版上面のひびわれより気泡、および、コンクリート粉と思われる白濁泥

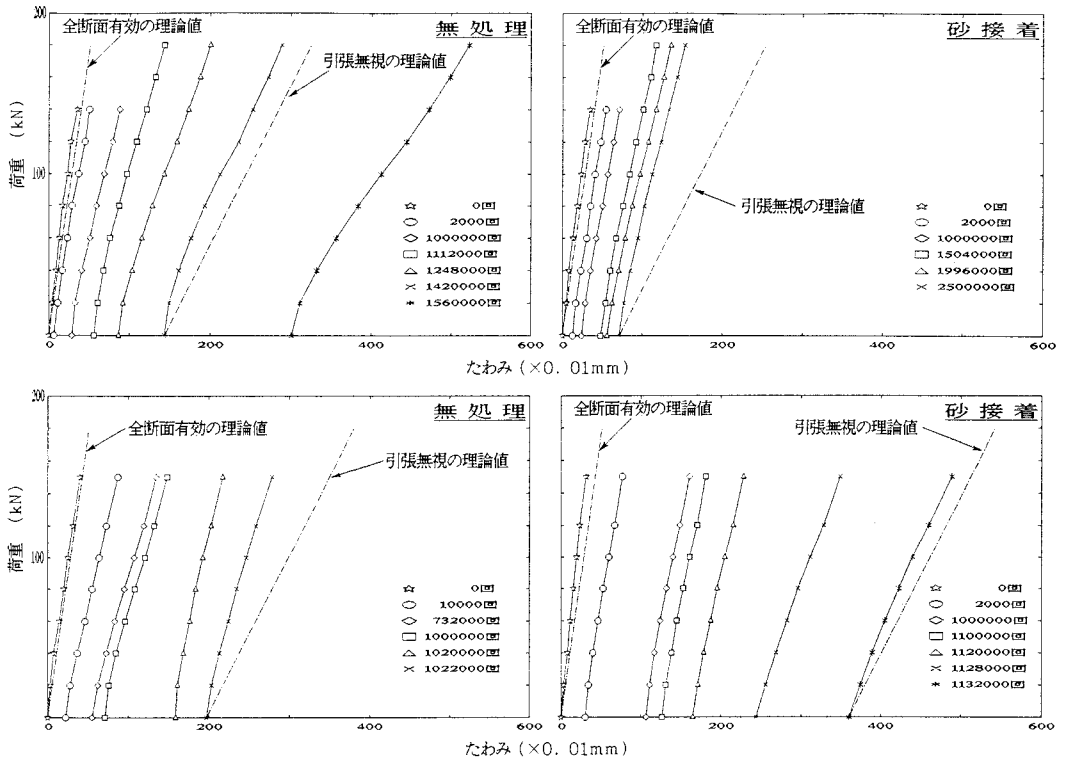


図-12 荷重-たわみ曲線

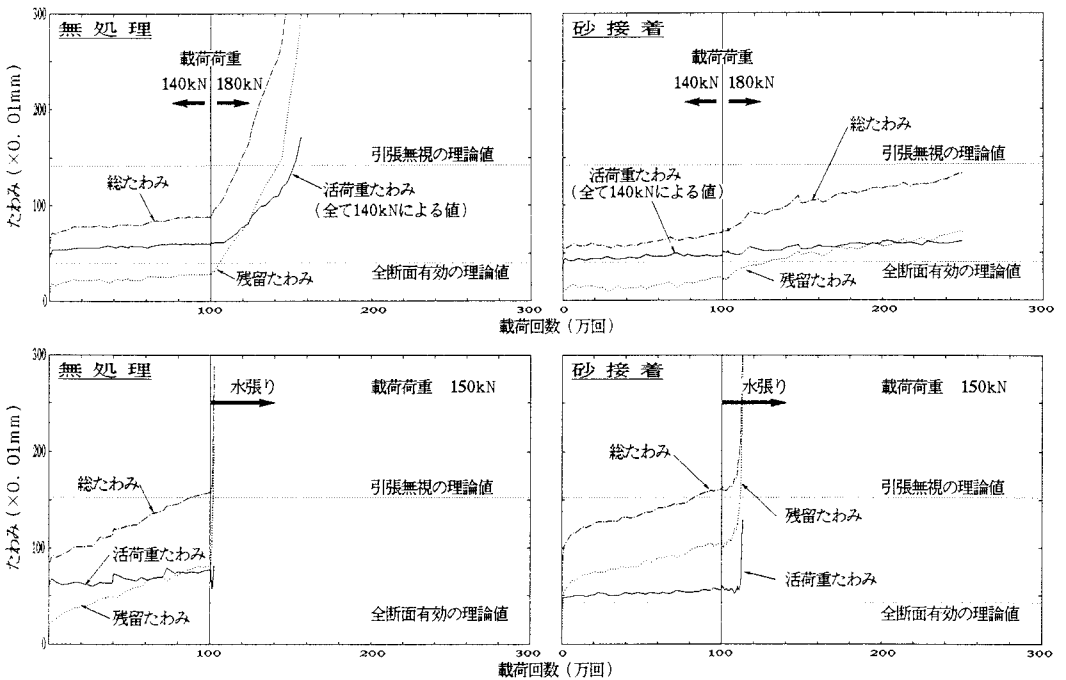


図-13 たわみ-サイクル曲線

が溶出し、下面のFRPの継目から漏水が発生した。たわみの変化を見ると、水張り後の載荷直後から残留たわみが急増し、急激に破壊が進行した。ここで、活荷重たわみが水張り試験中に減少しているのは、水張り実験の前に5日間ほど実験を停止しており、弾性余効⁸⁾により、剛性が回復したためと考えられる。このような現象は約3万回まで続く傾向が、これまでの実験でも見られていた。砂接着の供試体は、水張り載荷開始直後から、床版上面のひびわれで気泡が観察されたが、110万回程度までは、活荷重たわみ、および、残留たわみの変化は見られなかった。しかし、これ以後、床版上面へのコンクリート粉の堆積、FRP継目で漏水が観察され始めたが、漏水の量は、無処理の供試体よりはるかに少なかった。この減少も、砂接着によるひびわれ幅の抑制効果と考えられる。110万回程度より、たわみが急増し始め、床版は急激に耐荷力を消失していった。

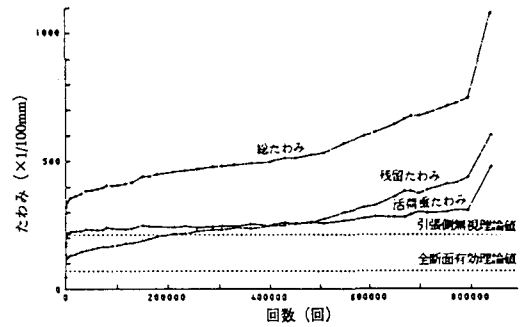


図-15は載荷縦断面におけるたわみ分布の変化状況である。図中には、FRP型枠を合成した断面で、全断面を有効とした場合と引張側コンクリートを無視した場合の理論値を併記した。荷重を載荷する毎に、たわみの分布は中央で尖った分布になってくる。これは、床版の主鉄筋方向にひび割れが発生し、配筋方向への荷重分配が少なくなるためである。さらに疲労が進行すると、中央部のFRP型枠の継目間のたわみが大きくなっているのは、継目部分で、ひびわれが全厚にわたって貫通し、荷重伝達が低下するためと思われる。

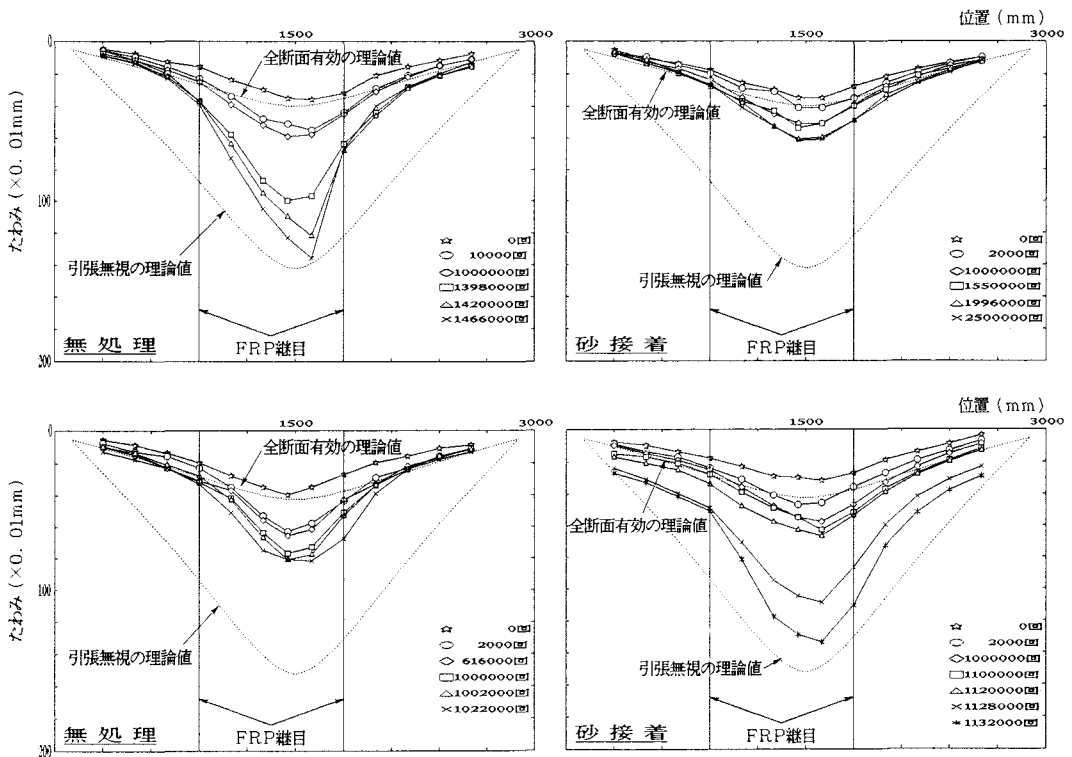


図-15 載荷縦断面におけるたわみ分布の変化状況

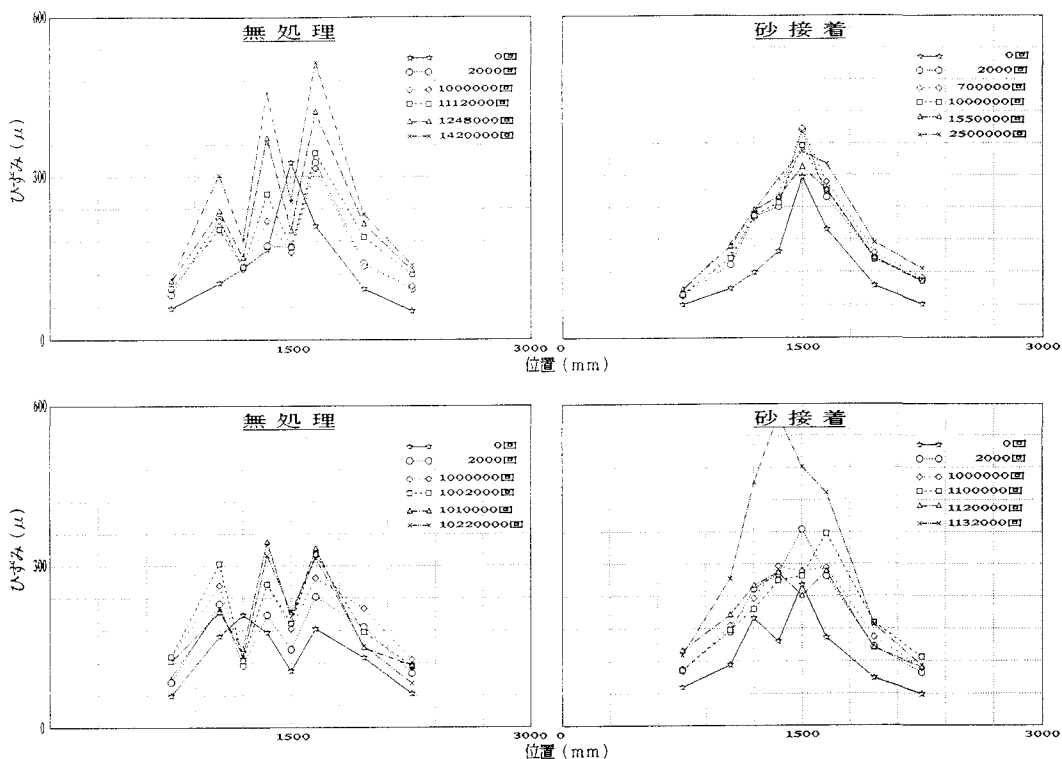


図-16 FRP底板のひずみ分布

図-16はFRP底板の床版支間中央におけるひずみ分布を示す。初期状態では、無処理、砂接着の両供試体とも、山型の分布となっているが、無処理の供試体では、載荷後すぐにFRPのリブ直下で極大となり、リブ間で極小となるジグザグ分布となった。これは、FRPとコンクリートが、リブ間ではく離れたためと思われる。一方、砂接着したものは、250万回の載荷に対しても滑らかな分布を維持しておりFRPとコンクリートとの付着性が非常に高いことがわかる。

図-17は、FRPとコンクリートのはく離状況の一例を示す。無処理の供試体では、載荷前から継目付近にはく離が認められ、繰り返し回数の増加に伴いはく離範囲の拡大が観察された。砂接着のものは、継目付近に部分的なはく離がみられたが、繰り返し載荷によるはく離範囲の進展は、ほとんど観察されなかった。

実験終了後、供試体を切断して断面を観察し

たところ、破壊した供試体は、RC床版と同様に主鉄筋方向断面におけるコンクリートのせん断破壊が見られた。また、載荷位置直下での橋軸方向の切断面において、FRPのリブ頭部から上側主鉄筋部分で破壊が

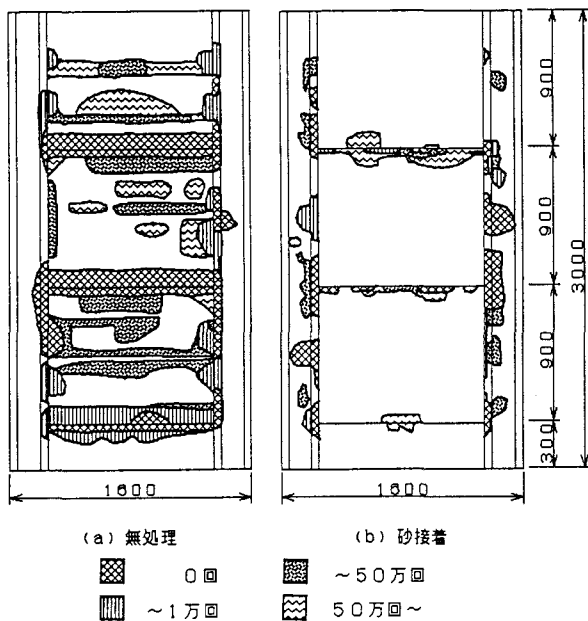


図-17 FRPとコンクリートのはく離状況

観察された。これらの切断面の状況から、本床版の破壊は図-18に示すような順序で進展するものと推定される。ただし、このようなコンクリート破壊後もFRP型枠は健全であり、RC床版のような下面コンクリートのはく離や抜け落ちを防ぐだけでなく、型枠のメンブレン効果で、かなりの残存耐力を保持することが判明した。

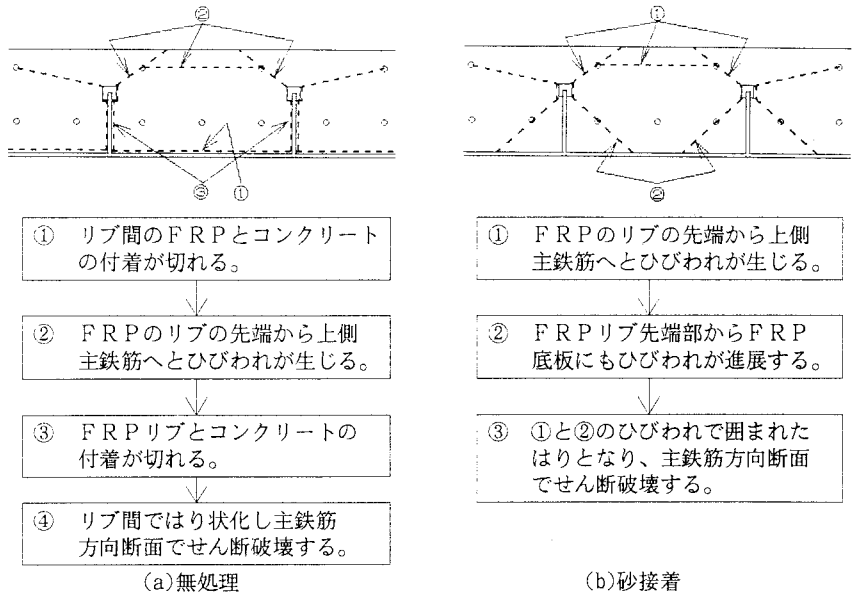


図-18 FRP合成床版の疲労破壊性状

5 結論

- 1) FRP型枠のコンクリート接触面の表面処理としては、砂接着が最も有効である。
- 2) FRP型枠は床版と合成され、版の剛性に寄与する。特に、型枠表面に砂接着を行うことにより、ひびわれ進展が抑制される。
- 3) 版の静的試験では、床版の断面剛性、および押抜きせん断強度のいずれについても、FRPリブ間の拘束効果により、砂接着と無処理の供試体で、有意な差異は認められない。
- 4) 疲労に対しては、無処理のもの、砂接着のもの、ともに現在の交通荷重下では実橋床版として十分な耐久性を有しているといえる。
- 5) FRPのコンクリート接触面に砂接着したものは、無処理のものに比べて、コンクリートとの付着強度が高く格段に耐久性が向上する。
- 6) コンクリートが破壊した場合でも、FRP型枠は健全であり、コンクリートの抜け落ちなどが防止できるだけでなく、メンブレン効果により、かなりの残存耐力を保持する。
- 7) 本床版の表面に滞水がある場合、耐久性がかなり低下するため、床版上面には、防水層を施す必要がある。

謝辞

本研究の実施にあたり、旭硝子マテックス㈱、三井東圧化学㈱より、FRP型枠材、および接着剤の材料を支給していただくとともに、貴重な資料の提供と助言をいただいた。また、疲労実験では大阪大学橋梁研究室の方々に、多大なご協力を頂いたことを記し、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 社団法人強化プラスチック協会：FRP設計便覧、1979、PP.333-334
- 2) 石崎・吉田・松井：FRP製永久型枠を用いたRCばりの曲げ耐力力試験、土木学会第47回年次学術講演会、I-508、1992.9、PP1190-1191。

- 3)石崎・荒井・松井：FRP製永久型枠を用いたRCばりの曲げ耐力に対する表面処理の影響、土木学会 第47回年次学術講演会、I-509、1992、9、PP1192-1193。
- 4)石崎、吉田、松井：FRP製永久型枠を用いた合成床版の静的載荷試験、土木学会 第48回年次学術講演会、I-61、1993、9、PP270-271。
- 5)前田、松井：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐力の評価式、土木学会論文集、No.348/V-1、1984、PP133-141。
- 6)阪神高速道路公団、阪神高速道路管理技術センター：道路橋RC床版のひび割れ損傷と耐久性、1991、PP. 40-41、PP. 49。
- 7)石崎、久保、松井：FRP製永久型枠を用いた合成床版の疲労試験、土木学会 第48回年次学術講演会、I-62、1993、9、PP272-273。
- 8)土木用語辞典編集委員会：土木用語辞典、コロナ社、技報堂出版、1993、PP. 73

(1993年9月16日受付)