

硬質ウレタンを充填した合成型枠橋の開発研究

DEVELOPMENT OF COMPOSITE SLAB BRIDGES WITH RIGID URETHANE
USED AS LIGHT FILLER

太田貞次* 深沢泰晴** 檜貝 勇***

By Teiji OHTA, Yasuharu FUKASAWA and Takeshi HIGAI

In case of usual composite slabs made up of concrete and steel plates, the concrete in sectional tensile zone is only a part of dead weight, and will not contribute to the flexural rigidity and strength. It is quite reasonable to develop a composite slab bridge in which light weight urethane is used instead of tension concrete.

The features of this new type of composite slabs are (1) the ability to lower the depth of the bridge by reducing dead load, (2) the promotion of rust prevention by bringing the water tight urethane into close contact with the steel plates inside, (3) less dynamic motion against travelling vehicles, and (4) sufficient durability against repeated loading.

1. ま え が き

小支間橋梁で使用される鉄筋コンクリート床版橋では、型枠支保工の組立、鉄筋加工、配筋などに熟練作業員が多く必要であり、現場工期も長くなる。それに対し、現場における特殊作業の軽減と現場工期の短縮を目的として、薄鋼板から構成される鋼製型枠を使用した合成床版橋、合成桁の開発に関する研究が進められ、施工実績も報告されている^{1)~6)}。それらは、底部鋼板とそれを補剛するTリブあるいは補剛材を兼ねたずれ止め構造からなる鋼製型枠を工場製作し、現場架設後コンクリートを打設するものである。その際、鋼製型枠はスタッドジベルあるいは前述のずれ止め構造など適当な手段でコンクリートと合成され、引張側鉄筋に代わる強度部材として使用される。この種の橋梁を以下、「合成型枠橋」と呼ぶことにする。

しかし、このような合成型枠橋はある程度合理的な形式ではあるが、支間が大きくなるとコンクリート重量の影響で死荷重による断面力が増加するという欠点を有しており、適用は小支間橋梁に限られてしまうのが実情である。合成型枠橋の支間を伸ばすためには自重を軽くすることが必要であり、設計上断面の剛性に寄与しない引張側コンクリートの代わりに、軽く、耐久性、施工性に優れた材料を利用することが1つの解決策となる。

著者らは、高分子材料の一種である軽量の発泡性硬質ウレタンを引張側コンクリートと置き換え、床版コンクリートと鋼板との間に充填するサンドイッチ構造を採用することで、この問題の解決を図った^{7)~9)}。硬

* 工修 ㈱宮地鐵工所技術本部技術開発部 (〒103 東京都中央区日本橋小伝馬町15-18)

** 工博 山梨大学教授 工学部土木環境工学科 (〒400 山梨県甲府市武田4丁目3-11)

*** 工博 山梨大学教授 工学部土木環境工学科 (〒400 山梨県甲府市武田4丁目3-11)

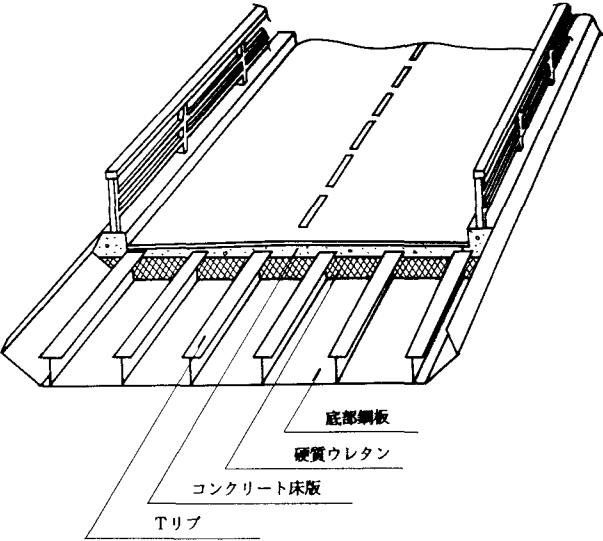
質ウレタンを使用することにより死荷重が大幅に軽減され、合成型枠橋の適用支間を30～40m程度にまで拡大できるとともに、次に述べる種々の利点を有する橋梁となっている。

死荷重の軽減に伴って従来の床版橋と比較して低桁高の橋梁建設が可能となる。その際、硬質ウレタンを鋼とコンクリートの間に充填したサンドイッチ構造とすることで、橋の減衰を高め振動・騒音の少ない橋梁となることが解った。また、硬質ウレタンにある程度の圧縮強度（2.2kgf/cm²程度）を期待できるので、コンクリート打設時の底部型枠が不要となる。更に、ウレタン部分が断熱材の機能を持つため寒冷地における床版の凍結を緩和する効果を有する。最後に、硬質ウレタンが鋼と密着するとともにそれ自体にほとんど透水性がないため、従来問題となっていた鋼板内側の防錆に対する配慮が不要となる。

本論文では、まず硬質ウレタンを使用した合成型枠橋の概要について述べる。次に部分モデルを用いた室内実験によってこの種の構造の静力学的挙動、破壊性状、繰返し荷重に対する耐久性及び振動特性などを調べ、実際の橋梁に適用した場合の問題点を検証する。最後に、硬質ウレタンを使用した合成型枠橋の施工事例について報告する。

2. 硬質ウレタンを充填した合成型枠橋の概要

本橋梁は、型枠を兼ねたTリブ付き底部鋼板、断面の引張域から圧縮域の一部にかけて充填された硬質ウレタン部分、ならびに断面の圧縮域で床版を兼ねたコンクリート部分から構成される（図－1）。硬質ウレタンは、原則として現場継手位置を除いて工場出荷時には充填されており、現場継手部分は桁据え付け・ボルト本締め後、現場での充填作業となる。硬質ウレタンの施工には、スプレーを使用した吹き付けによる方法とビニールホースを用いた注入による方法の2種類があり、現場施工では前者が便利である。硬質ウレタン充填後、これをコンクリート打設用の底部型枠として利用し、床版部分を施工する。



図－1 橋梁概要図

本橋の場合、現場における型枠支保工の設置や、スターラップの鉄筋加工・配筋等の作業を大幅に減ずることが可能であり、少ない熟練作業で短期間に架設することが出来る。

次に、本橋梁で使用する硬質ウレタンについて説明する。硬質ウレタンは2種類の原液、すなわちT液（ポリメチレン・ポリフェニル・イソシアネート、変性剤）とR液（ポリエーテル・ポリオール、触媒、界面活性剤、発泡剤）の二成分を接触させることにより生成する。ウレタンは比重に

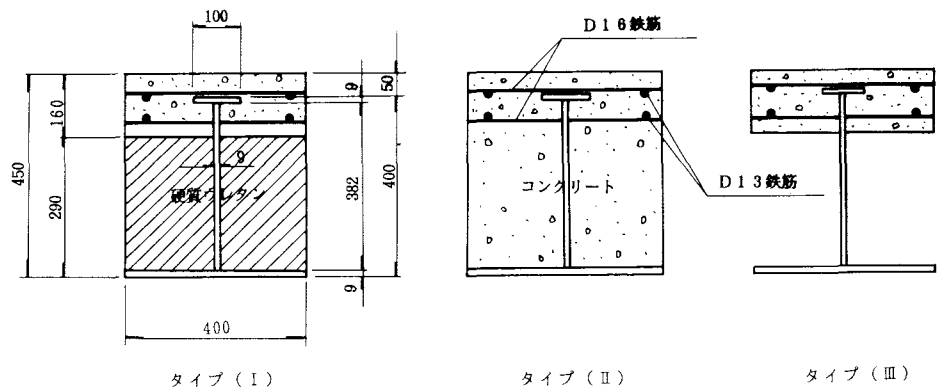
表－1 硬質ウレタン特性値（比重 0.03）

項 目	単 位	測 定 方 向	
		層 方 向	層直角方向
圧縮強度	kgf/cm ²	2.2	1.0
引張強度	kgf/cm ²	3.2	2.0
せん断強度	kgf/cm ²	1.5	1.4
初期ヤング率	kgf/cm ²	56.0	26.0
吸水率(1day)	%	1.8	

より特性値が変化する性質があり、ここでは強度や伸び追従性など橋梁に用いるのに最も適当と思われる比重0.03程度の独立気泡性硬質ウレタンを採用した。比重0.03の硬質ウレタンの特性を表－1に示す。ウレタンの特性の1つに施工時の厚さ方向（層方向）とそれに直角方向（層直角方向）では強度が異なる性質があり、層方向が層直角方向より大きい値を示す。なお、独立気泡性硬質ウレタンは軽く水を通しにくいとの性質に加えて、①現場における発泡施工が容易であり、②鋼やコンクリートに強く密着し、接着剤等を使用せずに硬質ウレタンを一体化することができるなど、橋梁に使用する際に有効な特徴をもっている。

3. 試験体の製作

試験体は支間14m程度の合成型枠橋の断面諸元とし、高さ45.0cm、幅40.0cmの断面寸法で、部材長は実験装置の制約から 4.2mとした。試験体の構成は、底部鋼板（以下底板と呼ぶ）とTリブからなる鋼桁の圧縮領域にTリブ上フランジを囲むように厚さ16.0cmのコンクリート断面を設け、コンクリートと底板との間に硬質ウレタンを充填する（図－2、タイプ（Ⅰ））。コンクリート部分の配筋は、主筋方向にはD16を上下2段配置する。上段はTリブ上フランジ上に沿わせ、下段はコンクリート下面から 4.0cmの位置で腹板を貫通させて配置する。貫通孔は19φで鉄筋ピッチは 150mmとする。配力筋方向には、上下主筋を固定するために4隅にD13を配置し、主鉄筋と結束線で結束する。鋼・コンクリート間の合成にはスタッドジベルは使用



図－2 試験体形状図

せず、下側主鉄筋とTリブ腹板間の支圧抵抗ならびに鋼とコンクリートとの接触面における付着抵抗によって両者の一体化を図っている。なお、比較のために、それぞれ硬質ウレタン部分にコンクリートを用いたもの、空洞にしたものを製作した（図－2、タイプ（Ⅱ）・（Ⅲ））。試験体を使用した材料及びその特性を表－2に示す。

試験体の製作順序は、まず鋼桁部分を製作し、次にコンクリート打設用の型枠を組み、タイプ（Ⅱ）あるいはタイプ（Ⅲ）の形状に仕上げる。タイプ（Ⅰ）については、

表－2 使用材料とその特性値

名 称	材 料 特 性
底板・Tリブ	SS400材（t=9mm）： $\sigma_y=3200\text{kgf/cm}^2$
鉄 筋	SD295材（D13）： $\sigma_y=3950\text{kgf/cm}^2$ SD295材（D16）： $\sigma_y=3950\text{kgf/cm}^2$
コンクリート	早強セメントコンクリート： 水セメント比=48％，スランプ=10cm 粗骨材の最大寸法=25mm， 28日強度=370kgf/cm ² （標準養生） ヤング係数=3.20×10 ⁵ kgf/cm ²
硬質ウレタン	2. 参照

実橋の施工手順とは異なるが、コンクリート部分の形状寸法の正確さを得るため、まずタイプ（Ⅲ）の形状に仕上げ、その側面に型枠を設け、端部からビニールホースを挿入しウレタンを注入して完成させた。試験体は各タイプ3体ずつ作り、2体は静的に破壊させ、残りの1体は疲労実験後破壊させる。また、各タイプ1体ずつに対しインパルスハンマーで打撃を与え、振動性状を調べた。

4. 静的载荷実験

4.1 実験方法

タイプ（Ⅰ）～（Ⅲ）の3種類について各2体ずつ、支点間隔4.0mでセットし、2点载荷にて終局状態まで荷重を加えた（図-3）。荷重の管理は、荷重载荷位置にセットしたロードセルで行った。測定項目は、支間中央のたわみと支間中央及び1/4点における断面内のひずみとし、たわみについては支間中央底版の左右両端にセットした変位計により測定した。ひずみに対しては、各断面位置毎に、コンクリート上面、Tリブ上フランジ上面、ウェブ1/3点、2/3点、底版下面（中央と両端）の7箇所にひずみゲージを貼り計測している。

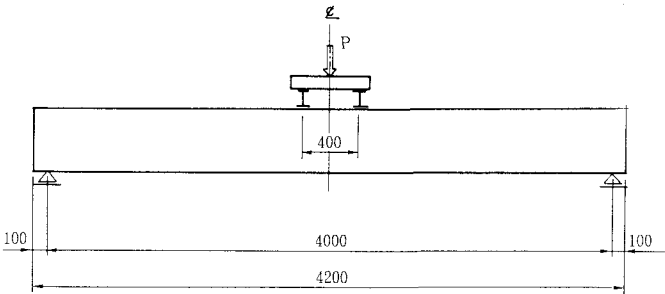


図-3 実験方法

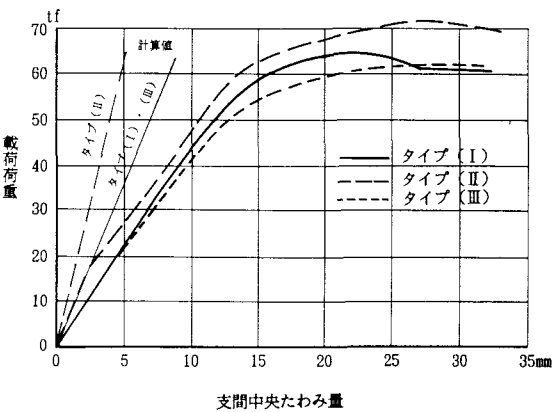


図-4 支間中央たわみ曲線

4.2 実験結果及び考察

タイプ（Ⅰ）～（Ⅲ）の3種類の試験体に対し静的载荷実験をして得られた結果のうち、荷重増加に伴う支間中央のたわみ、上フランジ上面と底版下面のひずみを図-4～6に、タイプ（Ⅰ）～（Ⅲ）の終局状態を写真-1～3に示す。図中の直線は、鋼材及びコンクリートは弾性体であるとして通常の梁理論により計算したもので、実線はタイプ（Ⅰ）と（Ⅲ）を、破線はタイプ（Ⅱ）を示す。

タイプ（Ⅱ）では、18tonfで支間中央付近の底版位置から鉛直上方に曲げひびわれが発生し、荷重増加にともなってこのひびわれが荷重载荷点に向かって上方に進展するとともに、他の断面でも同様なひびわれの発生・進展が見られ、最大荷重71.6tonfでコンクリート上面が圧壊し、徐々に支持力を喪失した。計算値との比較では、ひずみに対しては良く一致しているが、たわみについては合成構造として予想される性状を示しているものの、実験値が計算値より大きな値となっている。この理由は明らかではないが、同様の現象は鋼コンクリートサンドイッチ

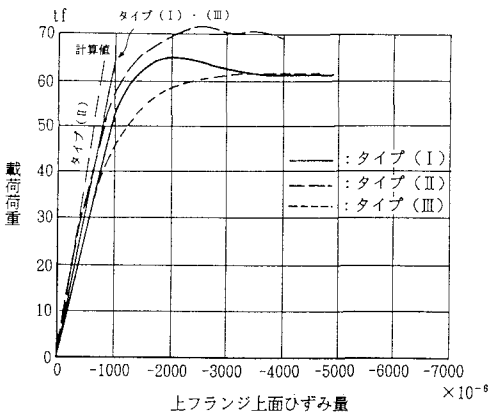


図-5 上フランジ上面ひずみ曲線

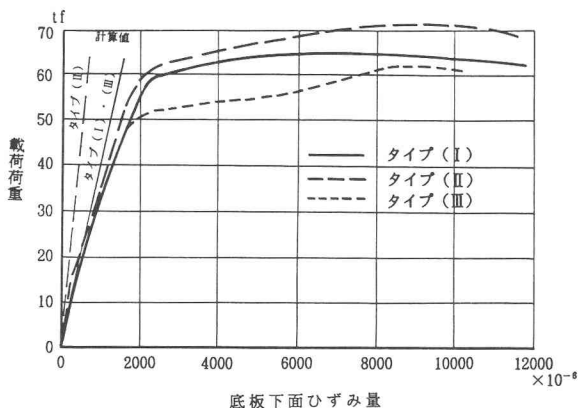


図-6 底板下面ひずみ曲線

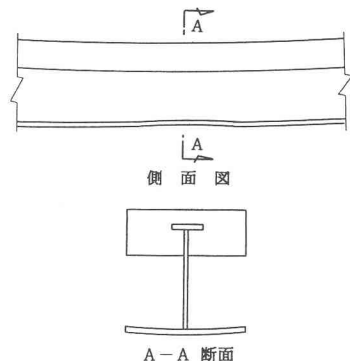


図-7 底板局部変形図

構造に対する実験報告においても報告されており²⁾，鋼コンクリート合成構造の場合には注意すべき点であると思われる。

断面引張域のコンクリート部分を空洞としたタイプ（Ⅲ）では，荷重50tonf付近まではたわみ，ひずみともタイプ（Ⅰ）と大差ない性状を示すが，それ以上の荷重になると両者とも急激に増大した。これは，タイプ（Ⅲ）では50tonf付近で底板下面のひずみが急激に増大し，それに伴いたわみ，上フランジのひずみが大きくなったものと思われる。更に荷重を上げると，中立軸がコンクリート部分に入るためコンクリート下面から曲げひびわれが発生した。また，支間中央付近の下フランジでは全体曲げに起因する面外変形に加えて局部的な面外変形を生じつつ（図-7参照）最大荷重62.0tonfとなり，徐々に支持力を喪失した。

タイプ（Ⅲ）の空洞部分に硬質ウレタンを充填したタイプ（Ⅰ）では，最大荷重付近までたわみ，ひずみともタイプ（Ⅱ）と同様な性状を示し，最大荷重64.9tonfでコンクリート上面が圧壊するとともにコンクリート部分がせん断破壊をともなって終局状態となり，急激に支持力を喪失した。その際，硬質ウレタン部分には全く変状が見られず，硬質ウレタンが鋼板の伸びに充分追従していることがわかる。また，底板の変形については，タイプ（Ⅲ）で見られた局部的な面外変形は生じておらず，コンクリート下面の曲げひびわれも発生していない。計算値との比較では，タイプ（Ⅱ）同様なわみについては実験値のほうが大きい。それに対して弾性範囲内のひずみは大差なく，応力計算には通常の弾性梁理論を適用しても問題ないと思われる。

以上3種類の試験体に対する実験結果から，次のことが言える。断面引張域のコンクリート部分（重量 2.35 tonf/m³，ヤング係数 $3.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ ）を軽量の硬質ウ

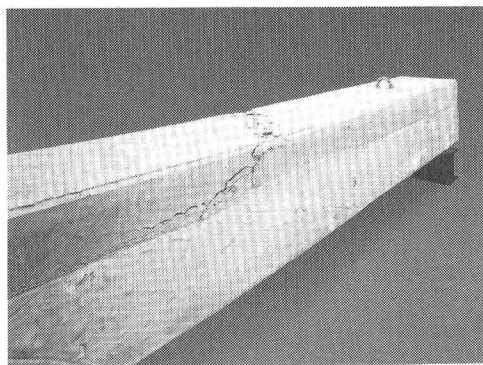


写真-1 終局状態（タイプ（Ⅰ））

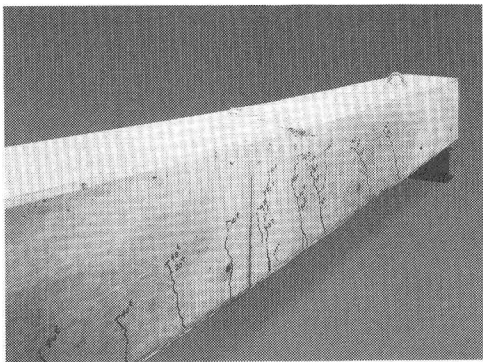
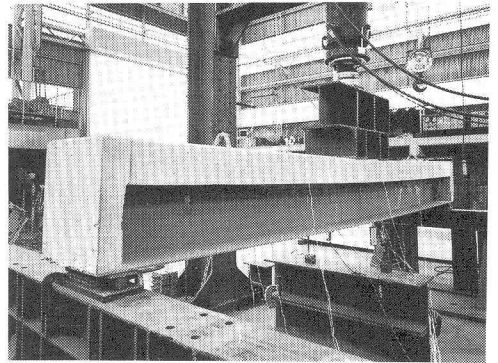


写真-2 終局状態（タイプ（Ⅱ））

レタン（重量 0.03 tonf/m³，ヤング係数 56kgf/cm²）で置き換えても曲げ変形，ひずみ性状，曲げ耐力に大きな違いは生じず，タイプ（Ⅰ）は単位重量あたりの曲げ強度が大きい構造と言える。次に，硬質ウレタン部分を空洞としたタイプ（Ⅲ）との比較では，タイプ（Ⅲ）のたわみ，ひずみに荷重50tonf付近で底板の局所的な面外変形に起因すると思われる性状の変化が見られるのに対し，タイプ（Ⅰ）ではそのようなことはなく，硬質ウレタンが底板とコンクリートとの間隔を保持することにより，底板の局局面外変形を抑制しているものと思われる。更に，タイプ（Ⅲ）で見られたコンクリート下面の曲げひびわれがタイプ（Ⅰ）では生じないことから，コンクリートと付着しているウレタンの存在により，コンクリートの引張塑性ひずみが平均化され，終局時にはコンクリート下面に引張応力が発生するにも係わらず，ひびわれが発生しにくくなっているものと思われる。なお，本実験で採用した簡単なずれ止め機構による合成効果の限界ならびにウレタンの効果の解明については今後の課題である。



写真－３ 終局状態（タイプ（Ⅲ））

５．疲労実験

５．１ 実験方法

タイプ（Ⅰ）～（Ⅲ）の試験体各１体に対して，図－３と同様の中央２点載荷で毎分 200回の繰り返し荷重を加えて疲労性状を調べるとともに，疲労実験終了後静的載荷実験を行い疲労実験前後の梁の強度，性状の変化を調べた。繰り返し回数，最大・最小荷重強度ならびにそのときの支間中央断面コンクリート上面と底板の応力度の最大値と最小値（いずれも測定値）を表－３に示す。

表－３ 疲労実験実施要領

試験体の種類	繰り返し回数 (万回)	載荷荷重 (tonf)		コンクリート上面応力度 (kgf/cm ²)		底板下面応力度 (kgf/cm ²)	
		最大	最小	最大	最小	最大	最小
タイプ（Ⅰ）	400	23.2	6.2	110	33	1400	400
タイプ（Ⅱ）	200	20.4	5.0	110	40	1000	330
タイプ（Ⅲ）	200	17.5	5.7	110	40	910	200

最大・最小荷重については，タイプ（Ⅰ）に対して底板の最大応力度 $\sigma_{s, max}=1400\text{kgf/cm}^2$ ，最小応力度 $\sigma_{s, min}=400\text{kgf/cm}^2$ となるように設定した。このときのコンクリート上面の応力度の測定値は $\sigma_{o, max}=110\text{kgf/cm}^2$ ，最小応力度 $\sigma_{o, min}=33\text{kgf/cm}^2$ であった。タイプ（Ⅱ）及び（Ⅲ）ではコンクリート上面で測定した応力度がタイプ（Ⅰ）と等しくなるように最大・最小荷重を決定した。

５．２ 実験結果および考察

（１）繰り返し荷重載荷時の外観変化

タイプ（Ⅰ）では 200万回載荷後において外観的には変化が認められなかったので，更に 400万回まで荷重載荷を行ったが，荷重載荷前後で外観的には変化が見られなかった。それに対してタイプ（Ⅱ）では荷重

載荷直後に荷重載荷点付近の底板位置4箇所で曲げひびわれが発生し、荷重載荷回数の増加にともなって断面の中立軸付近まで進展した。また、タイプ(Ⅲ)ではコンクリート部分は計算上合成断面の中立軸より上にあるにも係わらず、3箇所コンクリート下面より曲げひびわれが発生した。これは、繰返し載荷によって鋼桁とコンクリート床版間の合成度が低下し、コンクリート下面に引張力が作用したことを示している。

(2) 疲労実験後試験体に対する静的載荷実験
 疲労実験に使用した試験体に対して、静的載荷実験した結果を図-8～10に示す。

タイプ(Ⅱ)では繰返し載荷により曲げひびわれが発生しており、鋼とコンクリート間の合成の低下が懸念されたが、疲労実験せずに静的載荷した実験と本実験の結果を比較するとたわみ、ひずみともにその性状に変化がなく、最大荷重71.0tonfの曲げ耐力を有することから、繰返し荷重による影響はほとんどないと考えられる。

次に、断面引張域のコンクリート部分を空洞としたタイプ(Ⅲ)では、疲労実験を経ることにより最大荷重は他の2タイプと比較して少し低下が大きい程度だが、たわみ、ひずみについては増加の傾向が異なっている。これは、繰返し荷重により鋼とコンクリート間の合成作用が低下したためと思われる。

空洞の部分に硬質ウレタンを充填したタイプ(Ⅰ)では、繰返し載荷により下フランジのひずみに増加傾向が見られるが、たわみについてはほとんど変わらない。また、最大荷重も67.4tonfと低下が見られないことから、繰返し荷重による影響は幾分認められる程度と言えよう。しかし、設計荷重相当の繰返し載荷400万回に耐えていることを考えると、耐疲労性に特に問題はないと言える。

本実験では、Tリブの腹板に孔を明けて鉄筋を通すだけという簡易なずれ止め構造を採用しており、このような合成手段で疲労性状に問題が生じないという結果を得られたことは、製作・施工の簡便性を考えると、効果的な構造を見いだせたと言えよう。

6. 振動実験 6.1 実験方法

タイプ(Ⅰ)～(Ⅲ)の3種類の試験体から各1体ずつ選び、支点間隔4.0mでセットした後インパルスハンマーで支間中央を打撃して自由振動を生じさせた。

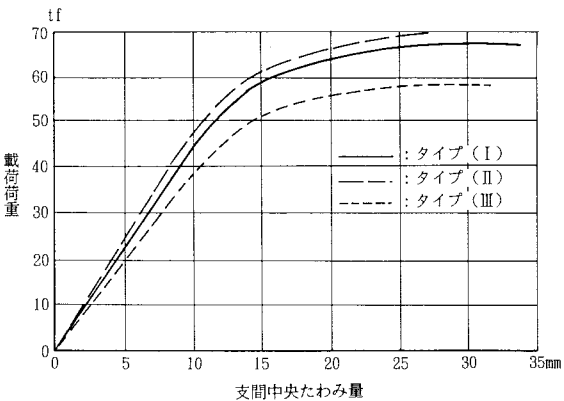


図-8 支間中央たわみ曲線(疲労試験後)

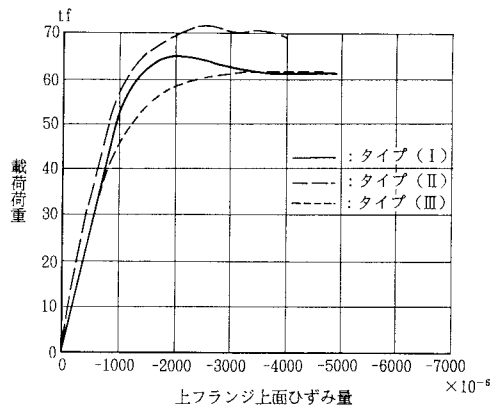


図-9 上フランジ上面ひずみ曲線(疲労試験後)

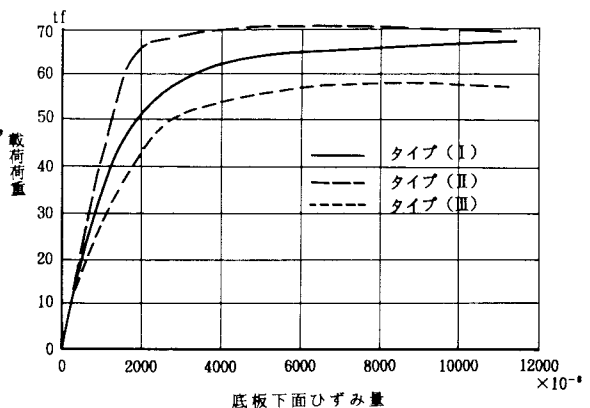


図-10 底板下面ひずみ曲線(疲労試験後)

データは、支間中央、1/3点、1/6点の底板下面中央3箇所に取り付けた小型加速度計（圧電型）、振動計を通して振動加速度波形をデータレコーダーに収録した後、FFTアナライザーにより周波数分析を行った。

6.2 実験結果及び考察

各試験体毎にデータレコーダー収録データをFFT解析し、卓越固有振動数（n）及び対数減衰率（λ）が表-4のように得られた。また、フィルターを通して得られる卓越周波数成分の支間中央における振動加速度波形を図-11に示す。

固有振動数の比較では、タイプ（Ⅰ）と（Ⅲ）がほとんど同じ値であるのに対し、タイプ（Ⅱ）では少し小さな値となった。タイプ（Ⅱ）が小さくなるのは、曲げ剛性が2倍程度となるのに対し重量が2倍以上となり、曲げ剛性と重量の比がタイプ（Ⅱ）では他の2つのタイプより小さくなるためと考えられる。また、タイプ（Ⅰ）と（Ⅲ）の比較から硬質ウレタンが梁の固有振動数にはほとんど影響しないことがわかる。

それに対し、対数減衰率の比較では、コンクリートで満たしたタイプ（Ⅱ）が空洞部を持つタイプ（Ⅲ）より少し減衰が大きくなる程度なのに対し、硬質ウレタンを充填したタイプ（Ⅰ）では2倍以上の値となった。また、支間中央における卓越周波数成分の加速度波形から、タイプ（Ⅱ）と（Ⅲ）ではともに乱れのない波形で規則的に減衰するのに対し、タイプ（Ⅰ）では波形が一種のうなり現象を生じながら急速に減衰した。

既に建設済みの硬質ウレタンを充填した合成型枠橋の振動が他の同規模の橋梁と比較して小さいこと、ならびに硬質ウレタンを充填した金属部材を叩いた時に発生する音が小さく余韻のないものとなっていることから、硬質ウレタンをサンドイッチ状に充填した形式が振動や騒音の低減に効果を発揮するものと考えられる。硬質ウレタンは軽量でかつ現場での施工が容易であることから、振動や騒音が問題となっている既設橋梁に対する効果的な解決手段を提供できるものと期待される。

7. 施工事例

硬質ウレタンを軽量充填材として使用した合成型枠橋を平成2年3月に、沖縄県恩納村かりゆしビーチにあるリゾートホテル内に建設した。橋梁の諸元を図-12に示す。

本橋は橋長 14.0m、有効幅員6.0mの橋梁であり、工場製作した鋼桁を橋軸直角方向に3分割して現場に搬入し、トラッククレーンで橋台上に載せた後橋面上で現場継ぎ手作業を行い、2日間で桁架設を完了した。桁は工場で上塗り塗装まで済ませており、橋梁下面には足場、支保工とも必要としない。桁架設終了後硬質ウレタン吹き付け発泡作業に2日、鉄筋配筋とコンクリート打設に2日と、ネット6日間でコンクリート打設まで完了した。なお、早強コンクリートを使用すれば上部工の現場作業開始後2週間で交通開放が可能であり、急速施工に適した橋梁形式といえる。硬質ウレタン施工中及び完成後の状況を写真-4、5に示す。

表-4 振動実験結果

試験体の種類	固有振動数 (Hz)	対数減衰率
タイプ（Ⅰ）	35.5	0.101
タイプ（Ⅱ）	32.0	0.049
タイプ（Ⅲ）	35.0	0.044

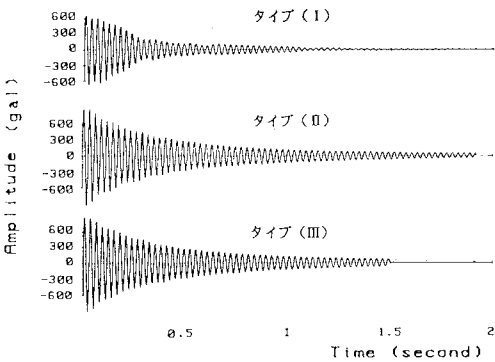
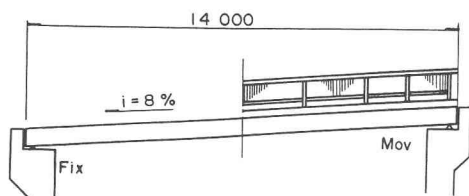
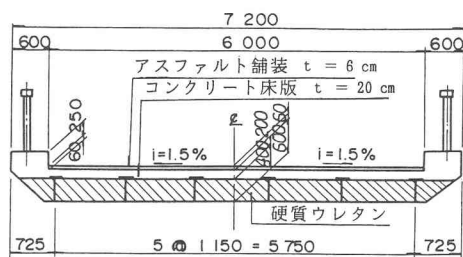


図-11 支間中央振動加速度波形



側面図



断面図

図-12 かりゆし橋一般図

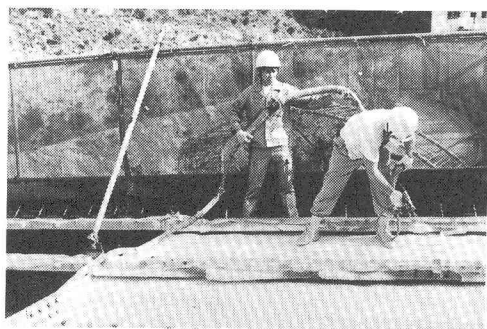


写真-4 ウレタン施工状況



写真-5 かりゆし橋竣工写真

8. まとめ

高分子化合物の一種であるウレタンは、軽量で施工性に優れ、ある程度の圧縮・引張強度（ $2\sim 3\text{kgf/cm}^2$ ）を有するという特性を持つ。この点に着目し、従来の合成型枠橋に対して断面引張域のコンクリートを硬質ウレタンで置き換えた「硬質ウレタンを充填した合成型枠橋」を開発した。

この種の合成型枠橋の力学的性能を検証するためにその一部を梁として取り出した試験体を作り、静的載荷実験、疲労実験、振動実験を行った。その際、比較のため硬質ウレタン部分にコンクリートを満たした試験体及び空洞とした試験体についても同様な実験を行った。その結果、コンクリートを硬質ウレタンと置き換えても静的耐力、耐疲労性ともに基本性状が変わらず、単位重量当たりの強度が増加するのに対し、硬質ウレタンの部分を空洞とした場合には静的耐力、耐疲労性ともに強度の低下が見られた。その原因として、硬質ウレタンが鋼とコンクリート間の合成作用の低下や鋼板の局部変形を防止し、またコンクリートの引張塑性ひずみの安定化に効果を発揮していることが考えられる。ヤング係数が非常に小さく剛性に寄与するとは考えられない硬質ウレタンの作用メカニズムの解明については、今後の課題である。

硬質ウレタンを充填した合成型枠橋の特徴について、実験結果を踏まえてまとめると、次のようになる。

- ① 硬質ウレタンを充填した合成型枠橋は従来の合成型枠橋の断面引張域のコンクリート（重量 2.35tonf/m^3 ）を軽量な硬質ウレタン（重量 0.03tonf/m^3 ）で置き換えるため、支間が大きくなる程自重の軽減効果を発揮し桁高を低く抑えることが可能となる。
- ② 断面の引張部分のコンクリートを軽量な硬質ウレタンで置き換えた場合、曲げ剛性は小さくなりたわみ易くなるが、弾性範囲内において断面に発生するひずみ（応力）はほとんど変わらず、同一重量当たりの強

度が大きくなる。設計は、ウレタン部分を無視した断面に対する通常の弾性梁理論の計算で問題ない。

③ 繰り返し載荷に対して、硬質ウレタンを使用した試験体では載荷前後で外観的に変化がなく、若干のひずみ増加は見られるが、たわみ、耐力は変わらず、Tリブ上に荷重が載荷される場合には設計上疲労に対して問題を生じない。

④ 硬質ウレタンを充填した場合、固有振動数は何も充填しないものと変わらないが、減衰係数が2倍以上となり振動が抑えられる。そのため、低桁高にも係わらず振動しにくい橋梁の建設が可能となる。

本開発研究に際し、九州大学日野助教授には開発の効果、実験の進め方等多くの助言をいただきました。また、防衛大学校石川教授、大阪大学松井教授には、合成構造にかかわる貴重な意見をいただきました。ウレタンに関する知識の伝授及び試験体製作において、旭ケミテック株式会社山田専務、柏部長ならびに日清紡西新井化成工場化成品部技術課の小川課長には多大の御協力をいただきました。ここに御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 田中祐人, 佐藤正勝: 突起付T形鋼を用いた斜合成床版橋の構造特性と設計法, 合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.63~68, 1990.9.
- 2) 浅沼 素, 佐野信一郎, 赤尾 宏: トラス型ジベルを用いた合成床版及び合成鋼床版桁の実験研究, 合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.231~238, 1990.9.
- 3) 太田俊昭, 日野伸一, 北之園 宏, 今井富士夫: トラス型ジベルを有する鋼板-コンクリート合成桁の力学特性, 合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.239~246, 1990.9.
- 4) 日野伸一, 太田俊昭, 今井富士夫, 朝倉 肇: 原田緑道橋(斜合成床版橋)の設計と載荷実験, 土木学会第43回年次学術講演会講演概要集第1部, pp.400~401, 1988.10.
- 5) 井上稔康, 渡辺 昇, 見延 昇: CS橋の施工と載荷試験について, 土木学会第43回年次学術講演会講演概要集第1部, pp.408~409, 1988.10.
- 6) 宮坂睦夫, 安本 孝: 合成型枠橋の疲労試験, 土木学会第44回年次学術講演会講演概要集第1部, pp.344~345, 1989.10.
- 7) 太田貞次, 宮坂睦夫, 山田信一, 具志保武: 軽量充てん材を使用した合成型枠橋の開発, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集第1部, pp.522~523, 1990.9.
- 8) 高橋秀幸, 太田貞次, 吉川 薫, 深沢泰晴: 硬質ウレタンを充填した鋼・コンクリート合成構造の基本性状実験, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集第1部, pp.358~359, 1992.9.
- 9) 土木学会: 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.
- 10) 日本鋼構造協会: 複合構造-複合構造小委員会報告一, 1987.5.

(1992年9月21日受付)