

軽量充てん材を使用した合成型枠橋の開発

Development of Composite Formwork Bridge with Hard Urethane Used as Light Filler

太田 貞次* 宮坂 睦夫** 岩崎 富雄***
 Teiji OOTA Mutsuo MIYASAKA Tomio IWASAKI

Summary

The concrete in the sectional tensile region in a composite slab bridge made of steel and concrete does not contribute mechanically to the beam rigidity in design. As a result, it has been possible to develop a composite slab bridge in which hard urethane is used instead of concrete. The features of this technique are (1) the ability to make the height of the bridge lower by reducing dead load, (2) the promotion of rust prevention by bringing the hard urethane into close contact with the steel plate inside, and (3) greater durability against repeated loading and unloading owing to the nonuse of concrete in the sectional tensile region.

1. まえがき

コンクリート床版打設時の型枠に鋼板を使用してこれを強度部材とする、いわゆる鋼・コンクリート合成型枠橋について、当社では両者を合成させる簡易的なジベル構造の研究に続いて沖縄県を中心に7橋の施工を行う等の開発を進めてきた^{1)~6)}。しかし、コンクリート重量が大きいため、支間が大きくなると死荷重による断面力が急激に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るのが実情である。

前記問題点に対し、設計上断面引張域のコンクリートが橋梁の剛性に寄与しない点に着目し、この部分のコンクリートを軽量の硬質ウレタンと置き換えることにより解決を計った「軽量充填材を使用した合成型枠橋」を開発したので、ここに報告する(図-1)。

本橋梁の特徴には、つぎのようなものが挙げられる。

- ① 断面引張域のコンクリートを硬質ウレタン(0.04 tf/m²程度)と置き換えるため、死荷重が大幅に軽減され経済的であるとともに橋高を低く抑えられる。
- ② 硬質ウレタンが鋼板に密着し、また透水性がほとんどないため水や空気が鋼板と接触せず、防錆に優れている。
- ③ コンクリートを断面の引張域に使用しないため、繰り返し荷重に対する耐久性に優れている。
- ④ 硬質ウレタンの支持力が大きい(3 kgf/cm²程度)た

め床版コンクリートの耐力が増す。

以下において、軽量充填材を使用した梁試験体に対する強度試験の結果ならびに沖縄県に施工した本形式橋梁の概要について報告する。

2. 硬質ウレタンの特性

軽量充填材として使用している硬質ウレタンは、T液(ポリメチレン・ポリフェニル・イソシアネート、変性

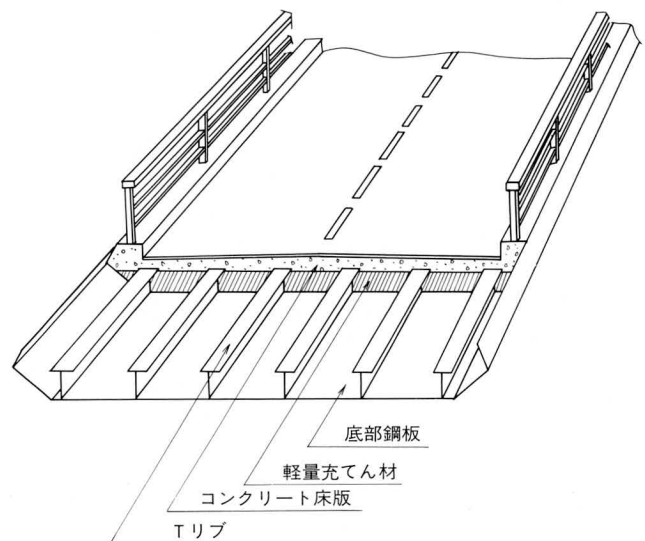


図-1 合成型枠橋概念図

* 技術本部技術開発部技術開発課係長

*** 千葉工場製造部生産設計第2課係長

** 松本工場品質管理部品質管理課長

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)の二成分を接触することにより生成させる。硬質ウレタンの特性を表-1に記す。

3. 梁試験体に対する静的載荷実験

(1) 試験体および実験方法

硬質ウレタンを使用した試験体ならびに、比較のために全てコンクリートを充填した試験体と硬質ウレタン部分を空洞とした試験体を各1体製作し、耐荷力実験を行った。実験方法ならびに各試験体の断面形状をそれぞれ図-2、図-3に示す。

試験体に使用した材料ならびにその特性はつぎのとおりである。

- 底部鋼板およびTリブ…S S 41材(t = 9 mm)
- コンクリート…早強コンクリート(スランプ10cm、現場養生7日強度340kgf/cm²)
- 軽量充填材…硬質ウレタン(2. 参照)

荷重強度の管理は、荷重載荷位置にセットしたロードセルで行った。また、支間中央のたわみは支間中央断面下フランジの左右両端にセットした変位計で測定し、さらに、コンクリート上面、Tリブ上フランジ上面、ウェブ、下フランジのひずみをひずみゲージで計測した。

なお、各試験体とも鋼とコンクリートとの合成の手段として、腹板上部に22φの孔を150mmピッチで明け、これ

にD19の鉄筋を通してている。この鉄筋のせん断抵抗ならびにTリブとコンクリートとの接触面における付着により合成床版として挙動することを期待した。

(2) 実験結果

各試験体に対し終局状態となるまで荷重を載荷し、それぞれの剛性の変化、破壊形状、耐荷力を調べた。

1) 剛性の変化ならびに耐荷力について

3種類の試験体における荷重-支間中央のたわみ曲線を図-4に示す。図より、全てコンクリートを充填したタイプ(II)は荷重が小さいうちは変形が小さいが、20tfを超える付近から他の2タイプより変形が大きくなり、耐荷力も67.9tfと3者の中で最も小さい。それに対し、タイプ(I)、(III)では55tf程度まで荷重-支間中央のたわみ曲線が比例直線関係を保ち、軽量充填材を使用したタイプ(I)では73.8tfで、軽量充填材部分を空洞としたタイプ(III)では71.6tfで終局状態となる。

なお、3体とも終局状態になるまで圧縮側の鋼とコンクリートとの付着が切れず、最後まで合成梁として挙動しており、腹板を貫通した鉄筋のせん断抵抗ならびに腹板、上フランジとコンクリートとの付着が鋼・コンクリート間のコネクターとして十分に機能していた。

2) 破壊形状について

1)で剛性の変化と耐荷力について述べたが、ここでは荷重の増加に伴う各試験体の性状の変化と終局時の破壊形状について述べる。

表-1 硬質ウレタン特性

項目	単位	測定方向	物 性 値	
			平均値	範囲
芯 密 度	kgf/m ³	—	38	33~43
熱 伝 導 率 (0℃)	Kcal/mh℃	—	0.016	0.014~0.018
独 立 気 泡 率	%	—	90	85~95
吸 水 率 (1 day)	V%	—	1.8	1.5~2.0
線膨張係数(-50~23℃)	—	—	4.8×10 ⁻⁵	—
ヤ ン グ 係 数	kgf/cm ²	 ⊥	1.1×10 ³	—
圧 縮 強 度	kgf/cm ²	 ⊥	2.5 1.2	2.0~2.9 1.0~1.6
引 張 強 度	kgf/cm ²	 ⊥	— 3.0	— 2.6~3.3
曲 げ 強 度	kgf/cm ²	 ⊥	2.0 —	1.5~2.4 —

|| : 層方向、⊥ : 層鉛直方向

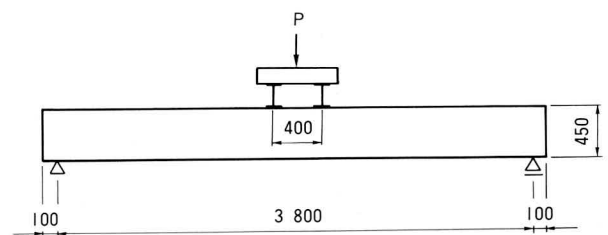


図-2 実験方法

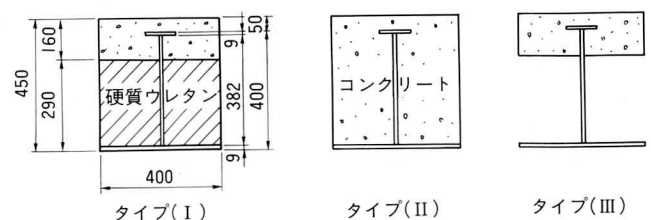


図-3 梁試験体形状

(a) タイプ(I)

軽量充填材を使用したタイプ(I)では、29tfでウレタン内部に初めてキ裂が入り、42tfで底部鋼板が降伏応力に達する。その後、底板のひずみは急激に増加するが荷重の増加に対する抵抗力を保持し続け、最大荷重73.8tfでコンクリート上面が圧壊し支持力を喪失する(写真-1)。

(b) タイプ(II)

全てコンクリートで充填したタイプ(II)では、タイプ(I)と同様なひずみ増加を示し、38tfでスパン中央付近3ヶ所にコンクリート下面底部鋼板位置から鉛直上方にクラックが発生した。更に荷重を増加すると60tfを過ぎる段階で底部鋼板とコンクリートとの付着が切れ、ひずみが急激に増加するなかで73.8tfでコンクリート上面が圧壊し支持力を喪失する(写真-2)。

(c) タイプ(III)

軽量充填材の部分を空洞としたタイプ(III)では、弾性域内ではタイプ(I)とほとんど同様な挙動を示すが、これを過ぎると底部鋼板のひずみ増加が大きくなり、底板の変形が大きくなる中で終局状態を迎える(写真-3)。このときのコンクリート上面の圧縮応力度は253kgf/cm²であり、コンクリートの圧縮強度340kgf/cm²よりかなり小さな値となっている。

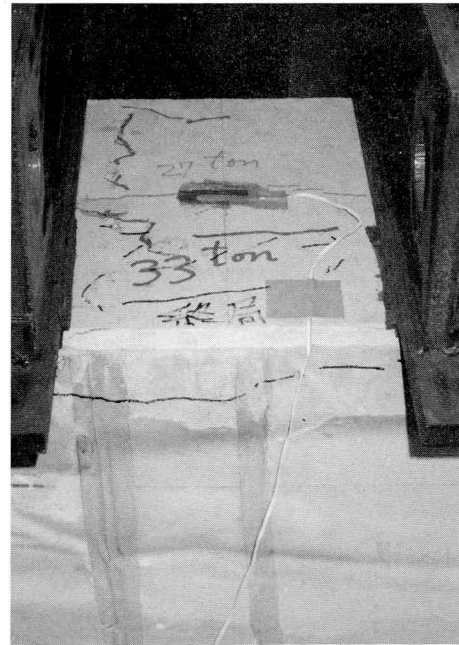


写真-1 終局状態 (タイプ(I))

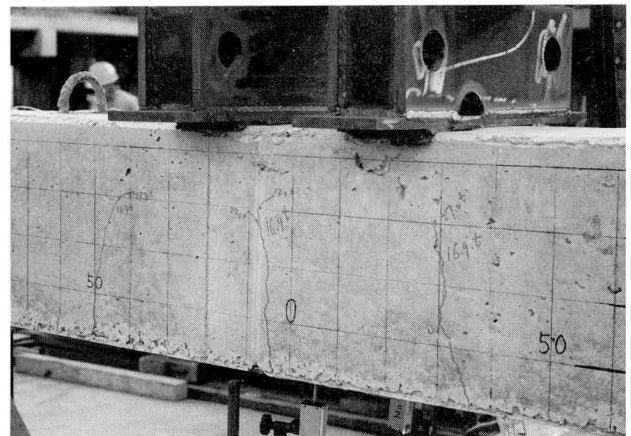


写真-2 終局状態 (タイプ(II))

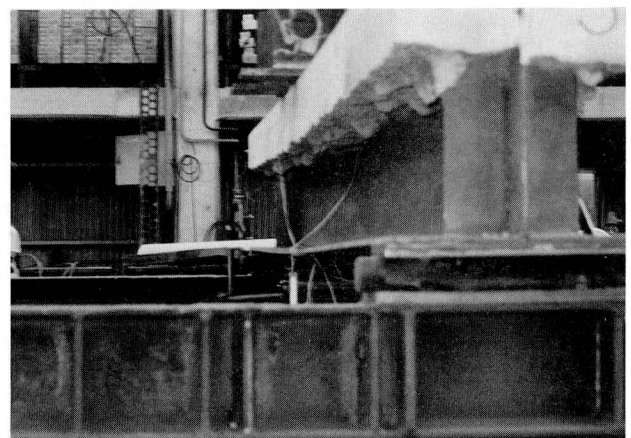


写真-3 終局状態 (タイプ(III))

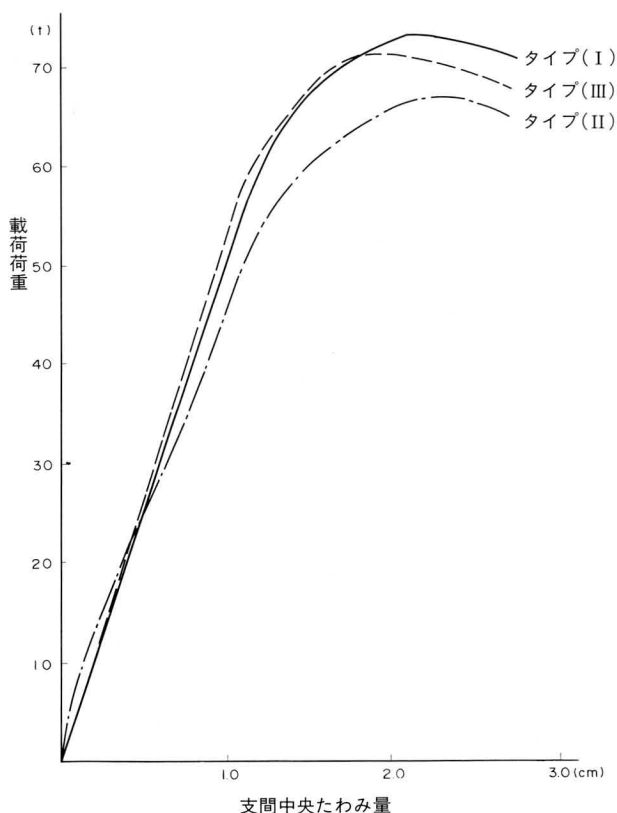


図-4 荷重-支間中央たわみ曲線

(3) 実験結果に対する考察

3種類の試験体に対する静的荷重試験結果から、タイプ(I)、(II)ではコンクリート上面の圧壊で、タイプ(III)では底部鋼板の塑性化で、それぞれ終局状態となることがわかった。また、耐荷力としては、タイプ(I)が最も大きく、タイプ(III)、タイプ(II)と続くとの結果が得られた。

実験結果からは、全てコンクリートを充填したタイプ(II)が他の2タイプより強度が劣ることになるが、ヤング率の小さな材料に置換えた試験体がそうでない試験体より耐荷力が大きくなるとの結果に疑問が残るため、その原因を調べることにする。

軽量充填材を使用したタイプ(I)と、全てコンクリートとしたタイプ(II)の断面内のひずみ分布を図-5に示す。図より、タイプ(II)がタイプ(I)より中立軸が上にあるため、特に底部鋼板が降伏域に入って以降のコンクリート上面の圧縮応力度の増加が大きくなっている。そのため、タイプ(I)が先にコンクリート耐力の上限に到達し、圧壊したものと思われる。

しかし、試験体が各1体と少ないこと、またひずみゲージによる計測位置が4ヶ所と少ないことから実験結果に対する信頼性に欠けるため、引き続いて梁試験体を用いた実験を行い、軽量充填材を使用した場合の耐荷力、設計法について確認していきたいと思う。

4. 梁試験体に対する繰り返し荷重実験

(1) 試験体および実験方法

静的荷重実験で使用したタイプ(I)、(II)と同一形状の試験体を各1体製作し繰り返し荷重実験を行った。

実験方法は、静的荷重実験同様支点間隔3.8mで試験体を支持し、中央2点荷重で毎分200回、200万回になるまで荷重を載荷した(写真-4)。

載荷荷重については、タイプ(I)、(II)とも底部鋼板の応力度が最大800kgf/cm²となるように、タイプ(I)では最大18t、タイプ(II)では最大20tとした。そのときのコンクリート上面の応力度は、それぞれ76kgf/cm²、80kgf/cm²である。また、最小荷重は疲労試験機の制約から、タイプ(I)、(II)とも2tとした。

(2) 実験結果

1) 繰り返し荷重実験

タイプ(I)、(II)の試験体を用いて200万回繰り返し荷重実験を行ったが、タイプ(I)では実験前後で外観的には全く変化が見られなかった。それに対し、タイプ(II)では実験開始して間もなく荷重載荷位置2ヶ所でコンクリート下面から鉛直上方にクラックが入り、それが進展する中で実験を終了した。200万回載荷後のタイプ(II)試験体を写真-5に示す。

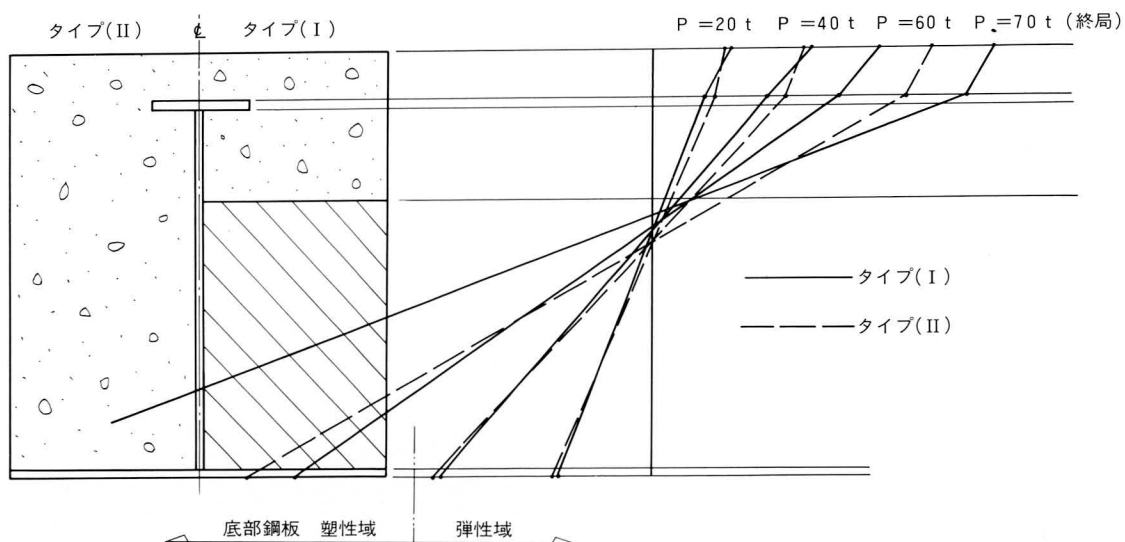


図-5 断面内ひずみ分布

2) 耐荷力実験

繰り返し載荷実験終了後両試験体に静的に荷重を載荷し、各試験体の終局耐力を調べた。

2つの試験体における荷重—支間中央のたわみ曲線を図-6に示す。図中短い直線は繰り返し載荷実験前に弾性域内で静的に載荷した結果を示している。ここでは、タイプ(I)がタイプ(II)より剛性の大きいことが見てとれる。それに対し、繰り返し実験終了後の静的載荷実験ではタイプ(II)に剛性の低下が見られるが、タイプ(I)では実験前後で剛性の変化はほとんど現れない。また繰り返し載荷実験終了後の耐荷力を見ると、両試験体とも70t程度とほとんど同じ値となっている。

(3) 実験結果に対する考察

底部鋼板の最大応力度を800kgf/cm²として200万回繰り返し載荷実験を行い、断面の引張域に軽量充填材を使用したタイプ(I)では試験体に変化を生じないが、全てコンクリートを充填したタイプ(II)では荷重載荷後すぐに鉛

直クラックが入り、載荷回数の増加に伴って圧縮域まで進展するとの結果が得られた。また、繰り返し載荷実験前後の試験体の剛性を見ると、タイプ(I)ではほとんど変わらないが、タイプ(II)では剛性が低下している。

上記実験結果から、断面の引張域に硬質ウレタンを使用することにより、コンクリートにひび割れが発生しないのみならず繰り返し荷重による耐力の低下が見られないとの利点を確認された。

なお、全てコンクリートを充填する場合には防水対策を十分に行うことが必要である。

5. 施工報告

硬質ウレタンを使用した合成型枠橋を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本年3月に施工したので報告する。

橋梁の諸元を図-7に示す。本橋においては、鋼とコンクリートとの合成にスタッドジベルを使用しており、

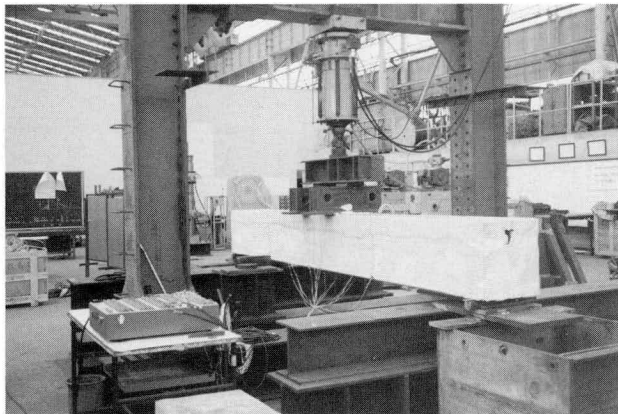


写真-4 繰り返し載荷実験

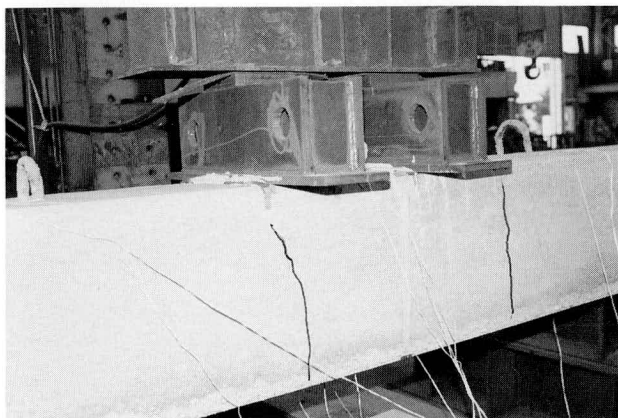


写真-5 200万回載荷後試験体(タイプ(II))

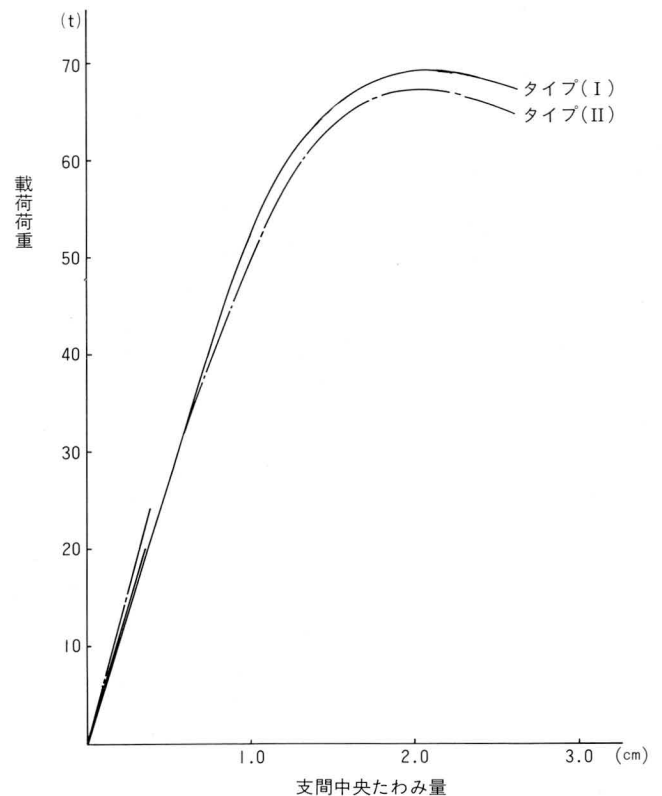


図-6 荷重—支間中央たわみ曲線(疲労実験後)

梁の強度試験で使用したジベル構造は採用していない。

硬質ウレタンの施工は現場で吹付け発泡させる方法を用いており、天気が良ければ2日で充填可能である。硬質ウレタン施工中ならびに完成写真をそれぞれ写真-6、7に示す。なお、将来的には工場で硬質ウレタンの施工まで行い、現場での施工を極力少くしていきたい。

6. あとがき

コンクリート床版打設時の型枠に鋼板を使用してこれを強度部材とする鋼・コンクリート合成型枠橋の引張域コンクリートが設計上断面剛性に貢献しないことに着目し、コンクリートの代わりに軽量充填材を使用した合成型枠橋を開発した。軽量充填材として発泡性の硬質ウレタンを使用することにより、

- ① 死荷重の軽減に伴う低橋高化、
 - ② コンクリートを断面引張域に使用しないことに伴う繰り返し载荷に対する耐久性の改善、
- が計られるのみならず、
- ③ ウレタンが鋼板に密着することによる防錆効果、
 - ④ ウレタンがコンクリートを支持することに伴う床版コンクリート強度の増加、

という利点を得ることができた。

本報告は、軽量充填材を使用した合成型枠橋の施工を前にして、橋梁の一部を梁試験体として取り出して強度実験した結果について述べており、供用時の安全性に対する確認はできたが、軽量充填材を使用した構造系の挙動、設計法等に対する検討としては必ずしも十分なものとは言えない。また、軽量充填材にウレタンを使用したことによる利点を設計や現場施工の簡易化に活かすためには、更に踏み込んだ検討が必要となる。今後本形式の橋梁の特長を十分に活用するために、実験等検討を続けていきたい。

最後に、「軽量充填材を使用した合成型枠橋」の開発に際し、旭化学工事株式会社山田専務ならびに日清紡化成産品事業本部春宮氏には多大の協力を頂きました。また、かりゆし橋施工では金秀建設株式会社鉄構事業本部具志部長にいろいろ御配慮頂きました。ここに、御礼申し上げます。

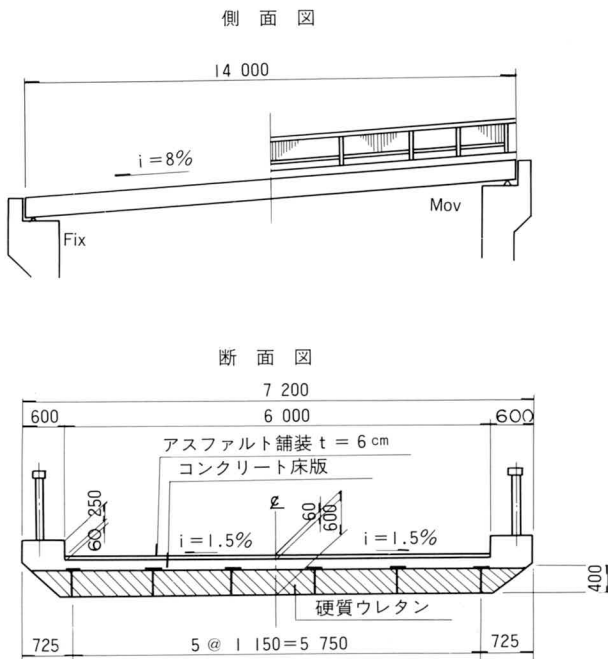


図-7 かりゆし橋一般図

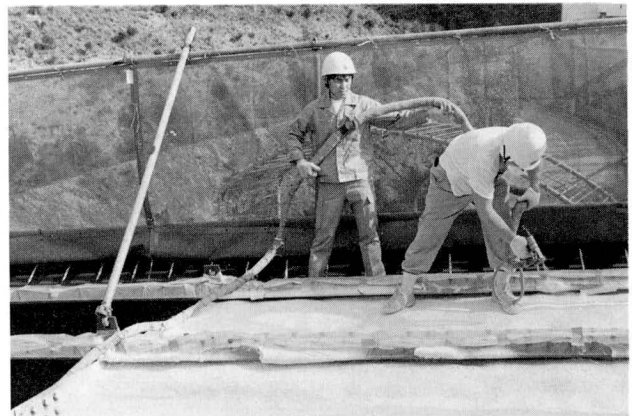


写真-6 硬質ウレタン施工

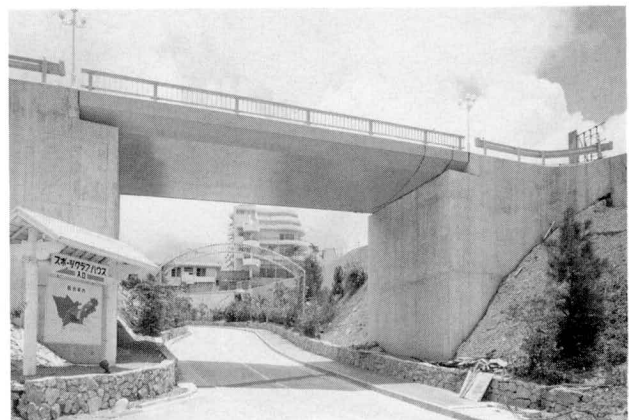


写真-7 かりゆし橋竣工

＜参考文献＞

- 1) 高崎、原、鬼頭；縦リブを利用したずれ止め構造の耐荷力試験、宮地技報No.1、1985
- 2) 高崎、原、鬼頭；縦リブを利用したずれ止め構造の耐荷力試験（疲労試験）、宮地技報No.2、1986
- 3) 高崎、原；薄鋼板と鉄筋を併用した合成梁の特性について、宮地技報No.2、1986
- 4) 高野、原；埋込み式合板桁の構造試験、宮地技報No.3、1987
- 5) 安本、宮坂；合成型枠橋梁（QSCB）の開発と施工、宮地技報No.4、1988
- 6) 安本、宮坂、佐藤；合成型枠橋梁（QSCB）の静的試験と疲労試験、宮地技報No.5、1989
- 7) 原、太田、阿部；新しい型のずれ止め構造の耐荷力試験とその合成床版への応用、土木学会第42回年次学術講演会、昭和62年9月
- 8) 宮坂、安本；合成型枠橋の疲労試験、土木学会第44回年次学術講演会、平成元年10月
- 9) 太田、宮坂、山田、具志；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、平成2年9月

1990.10.31受付

グラビア写真説明

神田大通り第2橋梁

東北上越新幹線上野駅より東京駅乗り入れに伴い、JR京浜東北線に沿って延伸工事が行われた。

本橋梁も、その一環工事として、JR神田駅際に、国道17号線上を跨ぐ架道橋として、平成元年9月より製作・架設工事が発注され、平成2年12月に無事竣工を見ました。

架設工事は、神田駅前、国道オーバー、他工区との競合など、いくつも厳しい条件下の元に、桁組立は夜間作業、桁送り出しは昼間作業で「手延機による送り出し工法」にて架設を行った。

又、他工区の兼ねいにより、桁降下を大型クレーンの相吊りにて、夜間上下線2回に分けて行った。（管井）

相吊りの概要

- ・桁重量 220.0 t × 2 回
- ・使用クレーン 300 t 吊油圧クレーン（NK3000）
360 t 吊油圧クレーン（NK3600）
- ・所要時間（横取り、ベント撤去などを含む）
下り線――9 時間
上り線――8 時間

青森ベイブリッジ

青森港はJR東日本青森駅を中心にして東西に分かれた形で発展し、現在に至っています。当港の貨物は木材・セメント・石油等の生活関連資材が多く、背後圏も青森市を中心に津軽一円、秋田県北と広範囲にわたっています。このため背後圏への輸送や本港地区と沖館地区との連絡貨物は、国道4号、7号および280号線を利用して輸送されており、これが交通混雑の要因ともなっています。この交通混雑を緩和して港湾施設の一体化・物流の円滑化を図ることを目的として、市街地を通過せずに青森駅構内を跨いで東西の港湾施設間を連絡する橋である。青森ベイブリッジは、全長1219mのうちJR東日本青森駅構内および隣接する港湾施設を跨ぐ位置我が国最大級のPC斜張を中心に平成4年度暫定2車線完成に向けて急ピッチで工事は進行中である。（田村）