

人工軽量骨材コンクリート内部に配置されたずれ止めに関する実験的研究

Experimental study on shear connectors for steel and light-weight concrete composite girder

藤原良憲*・辻角学**・児島哲朗***・保坂鐵矢****・平城弘一*****

Yoshinori Fujiwara, Manabu Tsujikado, Tetsuro KOJIMA, Tetsuya Hosaka, Kouichi Hiragi

* 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 (〒231-8315 横浜市中区本町 6-50-1)

** 川田テクノシステム株式会社 東京設計部 (〒114-0023 東京都北区滝野川 6-3-1)

*** 川田工業株式会社 橋梁事業部 大阪営業部 (〒550-0014 大阪市西区北堀江 1-22-19)

**** 工博, (財) 港湾空港建設技術サービスセンター (〒136-0082 東京都江東区新木場 1-6-10)

***** 工博, 摂南大学准教授 工学部都市環境システム工学科 (〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8)

Lightweight concrete used in this study is concrete made by using artificial lightweight aggregate as coarse aggregate. Although the small unit weight of lightweight concrete compared with normal concrete makes lightweight concrete advantageous for various applications, lightweight concrete has not been widely used as part of composite structures. One of the challenges for researchers when trying to use lightweight concrete as part of composite structures is to determine the characteristics and behavior of shear connectors, which are a key element for the integration of steel and lightweight concrete.

This paper reports the results of various loading tests conducted to investigate the characteristics and behavior of shear connectors for steel-lightweight concrete composite girders under positive and negative bending.

Key Words: light-weight concrete, shear connector, loading test

キーワード: 軽量コンクリート, ずれ止め, 載荷試験

1. はじめに

人工軽量骨材(以下、軽量骨材と呼ぶ)は、骨材の内部に多数の空隙を保有し、表面が緻密なガラスで覆われた軽くて強い骨材であり、粉碎した膨張頁岩を人工的に焼成することによって製造される。この軽量骨材を用いたコンクリート(以下、軽量コンクリートと呼ぶ)は、単位体積重量が普通コンクリートに比べ 15~20%軽いことから、用途や利点が多い。

我が国において、軽量骨材は 1964 年に製造が開始され、最盛期には 1,850,000m³/年の出荷量があったものの、1970 年代の原油価格高騰によりコストパフォーマンスが低下し、2005 年の出荷量は往時の約 1/4 に減少している。鋼橋においても 1960 年代に合成桁の床版コンクリートとして採用¹⁾されて以降の歴史があるものの、実績は多くない。

しかしながら、近年では天然骨材の枯渇や環境保全への配慮を背景に、天然骨材の代替品としての開発が盛んであり、原材料の豊富な軽量骨材の利用に再び注目が集まっている。

従来より、軽量コンクリートは普通コンクリートに比べて耐凍害性・ポンプ圧送性などに技術的課題があるとされ採用が敬遠される原因となってきたが、近年の各種研究の進展、および流動化材、鋼繊維など新材料の適用により、鉄道橋では軽量コンクリートが合成桁の床版に採用された近年の実績²⁾もあり、軽量コンクリート自体の物性に関する技術的課題は解決が進んでいる。

一方、軽量コンクリートの主要な用途として目される合成構造への適用においては技術的課題の解明が進んでいるとは言えない。

筆者らは軽量コンクリートを合成桁構造の床版に適用することを想定しているが、鋼と軽量コンクリートを一体化させる要であるずれ止めの特性・挙動に関する研究はこれまで皆無であり、現状は依然として不明確と言わざるを得ない。

筆者らはこれまでに、軽量コンクリートに関して静的および疲労押抜きせん断試験を実施し報告を行っており^{3,4)}、普通コンクリートとの比較から軽量コンクリートの活用に関する有用な知見を得ている。この内容については本研究と深く関連するため次章に要点をまとめ

た。

押抜きせん断試験からはずれ止めのせん断耐力や終局状態を知ることができるが、平面保持やひび割れ性能といったずれ止めが影響する実構造における桁挙動を把握することはできない。

本論文は上記の視点から、正曲げおよび負曲げの合成梁載荷試験を実施し、曲げ挙動とひび割れ特性の把握を行った結果を報告するものである。

なお、一般に人工軽量骨材コンクリートと称する場合、骨材全てが人工軽量骨材である場合（Ⅱ種）と、粗骨材のみが人工軽量骨材である場合（Ⅰ種）に区別されるが、本研究で扱う軽量コンクリートはすべて後者である。

2. 押抜きせん断試験

鉄道橋における合成桁の設計仕様は単純桁を前提としており、疲労耐久性に優れる馬蹄形ジベルが一般的に採用されてきた。しかしながら連続合成桁形式では中間支点上近傍においてずれ止めに生じるせん断力が大きくなること、および水平せん断力の作用方向が輻輳することから、とくに複線2主I桁橋形式では、配置できるずれ止め数に限りのある馬蹄形ジベルを用いることができない。よって中間支点上近傍には孔あき鋼板ジベルあるいは頭付きスタッドの配置が想定されるが、せん断耐力及び疲労耐久性に優れる孔あき鋼板ジベルが採用されることが多い。

上記より、普通コンクリートで用いられているずれ止めを軽量コンクリートに適用し評価する上で、本研究では馬蹄形ジベル、孔あき鋼板ジベル、および頭付きスタッドを検討対象とした。文献5)では同一の圧縮強度において軽量コンクリートの引張強度およびせん断強度は普通コンクリートの約70%程度としている（全ての骨材を軽量骨材とした場合）が、軽量コンクリート中におけるずれ止め耐力については言及されていない。

各種ずれ止めのせん断耐力を把握することを目的として、静的押抜き試験を実施した³⁾。試験概要および供試体の諸元を各々図-1、表-1に示す。図-2～図-5はせん断耐力に関して本試験結果を既往の試験結果^{6,7)}とともに整理したものである。

（1）馬蹄形ジベル

馬蹄形ジベルの終局状態はコンクリート種類に関係なく、ジベル鋼板前面のコンクリート圧壊および斜めせん断破壊であった。

せん断耐力は文献5)の設計式の傾きにほぼ一致しており、またその値は4～5倍程度の高い安全率を有している。十分な安全性が確保されていると考えられる。設計式は軽量コンクリートにおいても適用できると考えられる。

（2）頭付きスタッド

頭付きスタッドの終局状態は、コンクリート種類に関係なくスタッド軸部のせん断破壊であった。

せん断耐力も設計値に対して4～6倍程度の高い安全率を有しており、十分な安全性が確保されていると考え

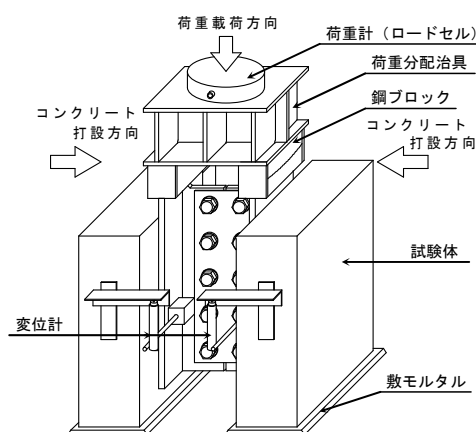
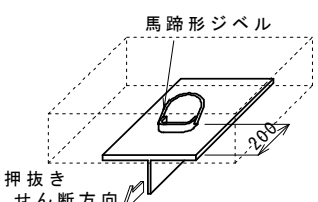
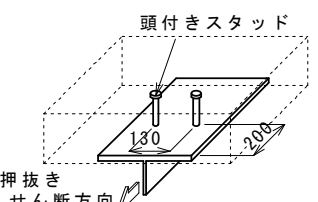
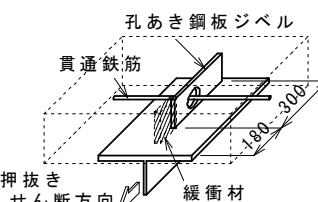


図-1 試験概要

表-1 押抜きせん断供試体の諸元

ずれ止め	馬蹄形ジベル		頭付きスタッド		孔あき鋼板ジベル	
概要図						
諸元	ジベル高 : 25mm ジベル幅 : 110mm ジベル厚 : 9mm 輪形筋 : 9φ		スタッド本数 : 2本 スタッド径 : 19mm スタッド高さ : 100mm		鋼板高 : 90mm 鋼板厚 : 9mm 孔径 : 55φ 貫通鉄筋 : D13	
供試体数	普通	軽量	普通	軽量	普通	軽量
	3体	3種×3体=12体	3体	3種×3体=12体	3体	3種×3体=12体

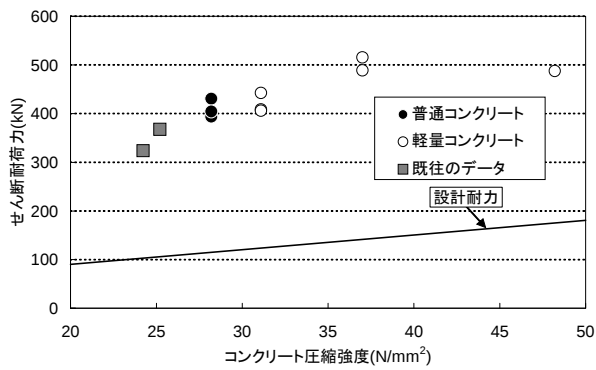


図-2 馬蹄形ジベルのせん断耐力

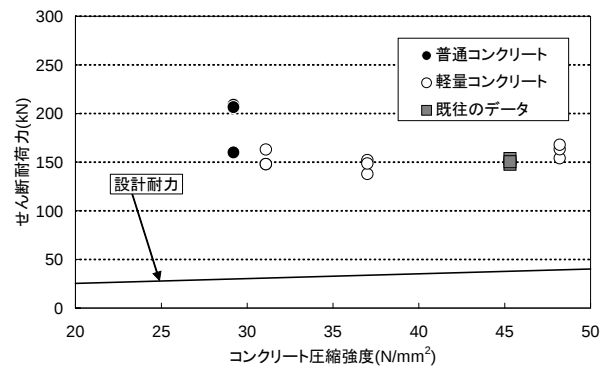


図-3 頭付きスタッドジベルのせん断耐力

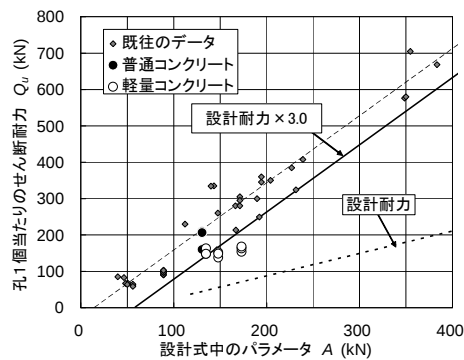


図-4 孔あき鋼板ジベルのせん断耐力

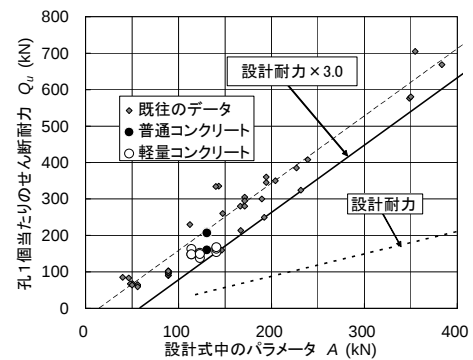


図-5 孔あき鋼板ジベルのせん断耐力
(材料係数0.7考慮)

られる。このことから、文献5)の設計式は軽量コンクリートにおいても適用できると考えられる。

(3) 孔あき鋼板ジベル

孔あき鋼板ジベルの終局状態は、孔周りコンクリートのせん断破壊であると観察された。軽量コンクリートでは普通コンクリートの場合と異なって骨材のせん断破壊が多く確認でき、骨材の種類の違いによる影響を受けていると考えられる。

また、図-4は孔1箇所当たりのせん断耐力と文献6)における設計式中のA値： $\frac{\pi(d^2 - \phi_{st}^2)}{4} f'_{cu} + \frac{\pi \phi_{st}^2}{4} f_{st}$ (d: 孔あき

鋼板ジベルの孔径, ϕ_{st} : 孔内に配置する鉄筋の径, f'_{cu} : コンクリートの設計圧縮強度, f_{st} : 貫通鉄筋の引張強度)の関係を、既往の試験結果を含めてプロットしたものであるが、軽量コンクリートの試験結果は所定の安全率3を確保できていないものも存在していた。

上記より、軽量コンクリートにおける孔あき鋼板ジベルのせん断耐力設計式には普通コンクリート式に何らかの低減係数を考慮する必要があると考えられる。

$\frac{\pi(d^2 - \phi_{st}^2)}{4} f'_{cu}$ 項 (A 値の第一項目) はコンクリートのせん断耐力を表す項であるが、この項に材料係数: $\mu = 0.7$

を考慮することを想定した (A 値の第一項目の値に μ を乗じた値)。

図-5に既往のデータと上記材料係数を考慮した本試験結果を示す。図より軽量コンクリート試験結果がいずれも安全率3を考慮した設計式を上回り、既往のデータを含めてすべての試験データがばらつき範囲内にあることが分かる。本試験の範囲内 (コンクリート圧縮強度 30~48N/mm²程度) では上述の低減係数 μ として 0.7 を採用することで、孔あき鋼板ジベルでは普通コンクリートの設計式を軽量骨材コンクリートに対しても適用できるものと考えられるが、この修正された設計式を決定づけるだけの十分な試験結果 (A 値を種々変化させた場合の試験結果) は得られておらず、さらに試験データを蓄積する必要があると考えられる。

上記、静的押抜きせん断試験とは別に疲労押抜きせん断試験も実施している。疲労試験結果はいずれのずれ止めも疲労強度において、普通コンクリート、軽量コンクリートに大差はなく、軽量コンクリートにおいても普通コンクリートの場合と同程度の疲労強度を有していることが確認できた⁴⁾。

3. 正曲げによる静的載荷試験(馬蹄形ジベル)

上述したように静的押抜きせん断試験により、馬蹄形ジベルは軽量コンクリート、普通コンクリートで差がなく、十分なせん断耐力を有していることを確認している。
ここでは、合成桁の正曲げ部における曲げ耐力と変形

挙動の把握を目的として、載荷梁を用いた2点載荷による静的正曲げ載荷試験を実施した。試験概要を図-6に示す。図中マーキングした部分が試験体である。

ずれ止めには鉄道橋で正曲げ部に用いられる馬蹄形ジベルを用い、普通コンクリート、軽量コンクリート各々1体の試験を実施した。鋼梁フランジのコンクリー

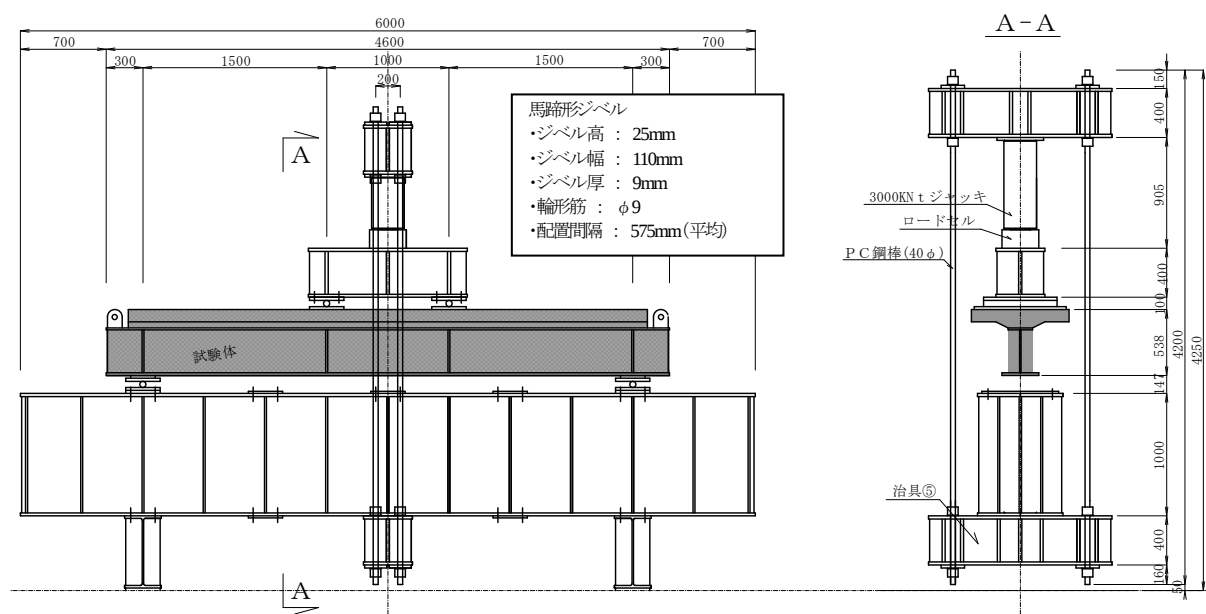


図-6 試験概要

表-2 供試体諸元(mm)

床版	800x100
ハンチ高	47
上フランジ	200x16
ウェブ	350x22
下フランジ	300x25

表-3 材料特性(N/mm²)

コンクリート種	普通	軽量
圧縮強度	36.9	33.1
弾性係数	28500	18400

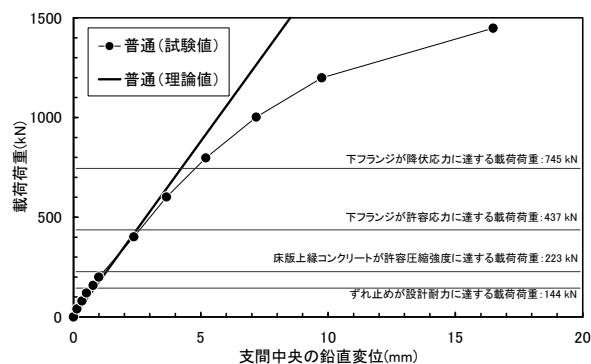


図-7 普通コンクリートにおける荷重と変位量の関係

表-4 載荷荷重の目安

コンクリート種別	普通	軽量
ずれ止めが設計耐力に達する載荷荷重	144 kN	147 kN
床版上縁コンクリートが許容圧縮強度に達する載荷荷重	223 kN	230 kN
下フランジが許容応力に達する載荷荷重	437 kN	417 kN
下フランジが降伏応力に達する載荷荷重	745 kN	710 kN

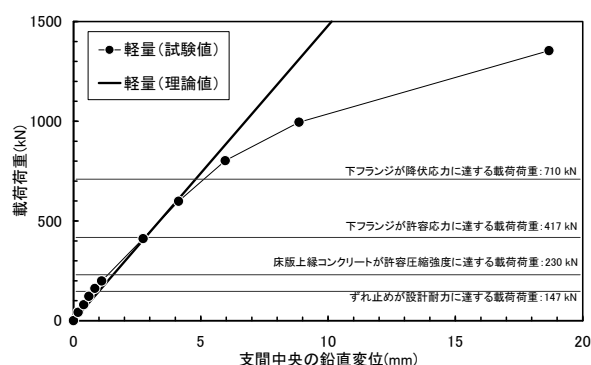


図-8 軽量コンクリートにおける荷重と変位量の関係

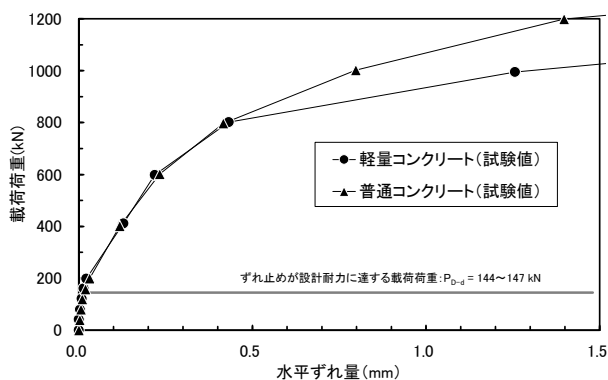


図-9 載荷荷重—水平変位関係(支点上2箇所の平均値)

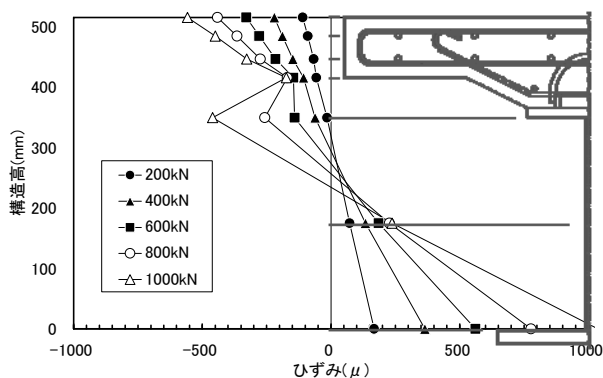


図-10 普通コンクリートの断面ひずみ分布(スパン中央)

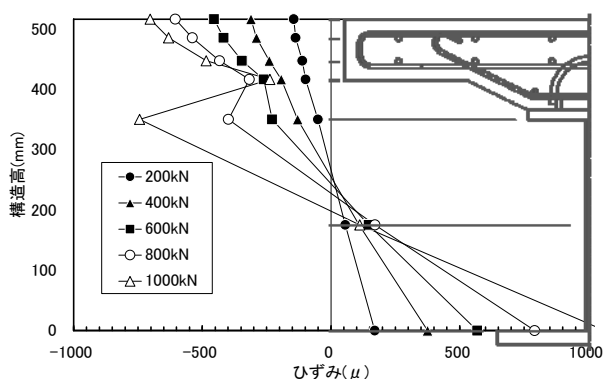


図-11 軽量コンクリートの断面ひずみ分布(スパン中央)

ト接合界面には黒皮の状態ではパラフィン塗布し、コンクリートとの付着を除去している。

試験体の諸元と物性を表-2、表-3に示す。試験実施時の軽量コンクリートの圧縮強度は普通コンクリートのそれに比べ約90%程度であるのに対し、弾性係数はほぼ65%程度である。文献6)に示されたコンクリートの弾性係数は設計基準強度 30N/mm^2 に対して軽量コンクリートが 16N/mm^2 、普通コンクリートが 28N/mm^2 であり、本試験の材料特性は妥当なものであると考えられる。

なお、表-4中“ずれ止めが設計荷重に達する載荷荷重”の算出においては、コンクリート圧縮強度の軽量/普通比が0.90である(ずれ止めのせん断耐力も同じ)のに対し、荷重から水平せん断力を算出する係数である〔合

成断面二次モーメント〕／〔換算コンクリート断面積〕×〔合成中立軸—コン重心間距離〕の普通/軽量比は0.91となり、求める載荷荷重は軽量コンクリートの方が1%程度大きくなる。また、“床版上縁コンクリートが許容圧縮強度に達する載荷荷重”の算出においては、上記同様に中立軸位置が異なる(軽量供試体の方が15%程度大きな値)ため、床版厚さを同じにして検討した当該試験体においては軽量供試体の該当値は若干大きくなる。

荷重は200kNごとに1200kNまで漸増繰返し載荷を行い、その後変位制御に切り替えて終局状態が確認できるまで載荷を行った。すなわち荷重載荷ステップは[0kN→200kN→0kN→400kN→0kN→600kN→0kN→800kN→0kN→1000kN→0kN→(1200kN)→0kN→破壊]である。

表-4に各時点における設計荷重を載荷荷重の目安として示す。荷重の算出には表-3の材料特性を使用している。

(1) 鉛直たわみと曲げ剛性

図-7、図-8に普通および軽量コンクリートの各々の供試体における支間中央の鉛直変位(たわみ)—載荷荷重関係を各設計荷重レベルと併記して示す。図は漸増繰返し載荷による残留変位を無視した値に補正している。

普通および軽量コンクリートの両供試体ともに、載荷荷重600kN程度までは試験値が理論値に近似している。ずれ止めが設計耐力に達する荷重が150kN程度であることから、正曲げ部において設計荷重の4倍程度の荷重まではずれ止めの機能低下はなく、完全合成としての曲げ剛性が確保されているものと考えられる。

600kN程度以降の載荷荷重では剛性が急激に低下していることがわかる。しかしながら、軽量と普通に大きな差はなく、鋼桁下フランジの降伏による剛性低下であると推測される。

すなわち合成桁の正曲げ域における鉛直変位および曲げ剛性に関して、軽量コンクリートと普通コンクリートはほぼ同等とみなせる。

なお、軽量コンクリートの変位が普通コンクリートに比べ値を示しており、その比は1:0.85程度である。この違いは表-3に示すとおり、コンクリートの弾性係数に差異があり、合成桁断面の曲げ剛性比(軽量/普通=0.84:1)と同等である。このことから、両供試体の鉛直変位の相違は断面の曲げ剛性差によるものであることがわかる。

(2) 水平ずれ

載荷荷重と床版—鋼梁の接合界面の水平ずれ量の関係を図-9に示す。水平ずれ量は端支点の両方の床版—鋼梁間に変位計を水平に配置し計測しており、図は平均値を示した。

ずれ止めが設計耐力に達する載荷荷重が約 150kN 程度であるのに対して、載荷荷重 800kN 程度までは普通と軽量コンクリートの両供試体に差異はない。ちなみに 150kN の載荷荷重時における水平ずれ量は 0.01mm 程度であり、極めて小さいものであった。

載荷荷重 800kN 以降では、特に軽量コンクリートにおいてずれ止め位置のコンクリート破壊が進展し、軽量と普通において差異が生じていると考えられる。しかしながら、前記の曲げ剛性および鉛直たわみの結果からも明らかのように、ずれ性状が剛性に大きな影響を与えるような程度のもではなく、載荷荷重レベルから考えて軽量コンクリート供試体も十分な耐力を有していると考えられる。

(3) 断面における梁高方向のひずみ分布（平面保持の検証）

普通および軽量コンクリート供試体のスパン中央における各載荷荷重の断面ひずみ分布を図-10、図-11 に示す。

普通・軽量ともに載荷荷重 400kN 時には平面保持が確認できるが、600 kN 時には若干断面ひずみ分布に乱れが生じ、以降の載荷荷重ではずれ止めの機能が低下していると考えられる。このような性状は上述した曲げ剛性および鉛直たわみの結果とほぼ一致している。

また、普通および軽量コンクリート供試体に大きな差異はないが、載荷荷重 800kN 以降においてやや軽量コンクリート供試体のほうが合成挙動の低下を示している。このことは上述の水平ずれの結果とも一致するもので

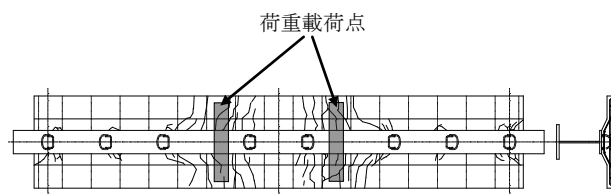


図-12 床版下面最終ひび割れ状況(普通コンクリート)

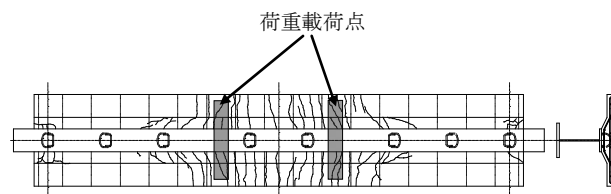


図-13 床版下面最終ひび割れ状況(軽量コンクリート)



写真-1 ジベル位置のひび割れ状況

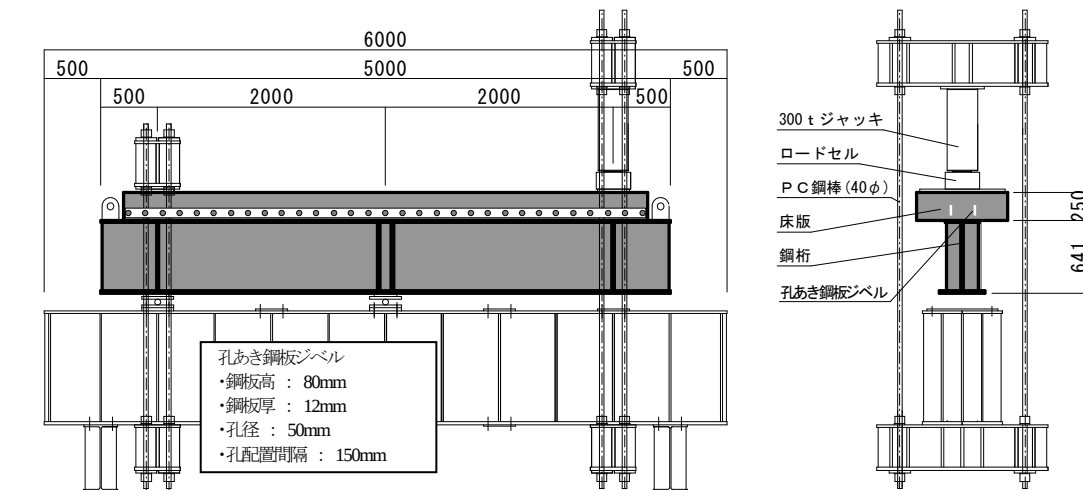


図-14 試験概要

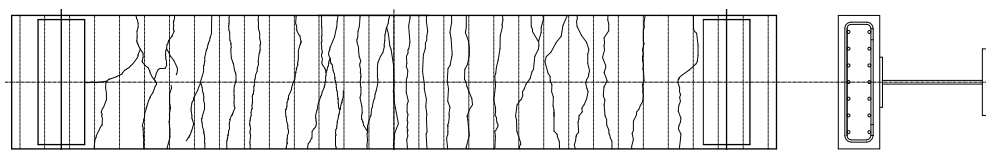


図-15 孔あき鋼板ジベルのひび割れ発生状況

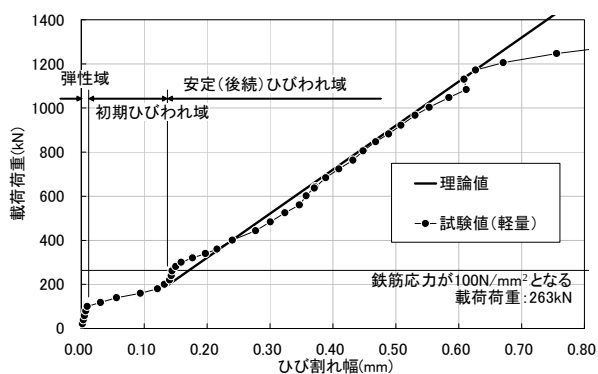


図-16 ひび割れ幅と載荷荷重の関係

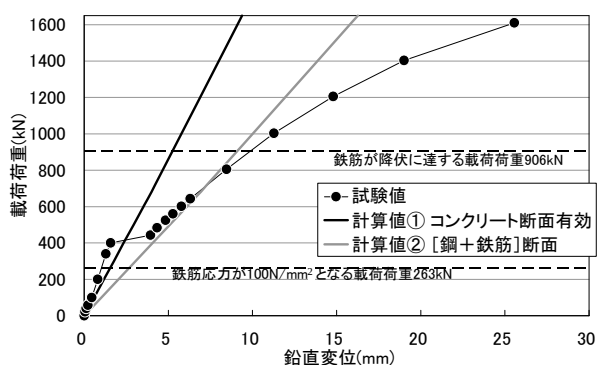


図-17 載荷点における鉛直たわみ

ある。

すなわち、正曲げをうける軽量コンクリート供試体のはり挙動は変位およびひずみ分布とも妥当なものであり、また十分な耐力を有していることから、軽量コンクリートの合成梁構造への適用に際して大きな問題は見当たらない。

(4) 終局時におけるひび割れ状況

普通および軽量コンクリート供試体の試験終了後における床版下面ひび割れ状況を図-12、図-13に示す。支間中央および載荷点付近では合成機能が低下した後、曲げひび割れも生じている。写真-1に終局時の破壊形態を示す一例として軽量コンクリート供試体の桁端ずれ止め付近を示す。押抜きせん断試験同様に斜めせん断ひび割れが発生していることがわかる。

4. 負曲げによる静的載荷試験(孔あき鋼板ジベル)

試験概要と供試体の諸元をそれぞれ図-14と表-5に示す。本試験は軽量コンクリート供試体のみで実施した。鋼フランジのコンクリート接合界面は黒皮の状態ではパラフィン塗布し、コンクリートとの付着を除去している。載荷は張出し梁の状態で支持された梁の先端に作用させて、供試体の中央部に負曲げを与える方法とした。

供試体に用いた軽量コンクリートの材料特性を表-6

表-5 供試体諸元(mm)

床版	800x250
上フランジ	300x16
ウェブ	600x22
下フランジ	400x25

表-6 材料特性(N/mm²)

コンクリート種	軽量
圧縮強度	33.8
弾性係数	17900

表-7 載荷荷重の目安

コンクリート種別	軽量
ずれ止めが設計耐力に達する載荷荷重	1005 kN
上段鉄筋(SD345)が100 N/mm ² (設計荷重相当)に達する載荷荷重	263 kN
上段鉄筋(SD345)が許容応力(140 N/mm ²)に達する載荷荷重	368 kN
上段鉄筋(SD345)が降伏応力(345 N/mm ²)に達する載荷荷重	906 kN
下フランジが許容応力(185 N/mm ²)に達する載荷荷重	738 kN
下フランジが降伏応力(315 N/mm ²)に達する載荷荷重	1257 kN

に示す。供試体のずれ止めには鉄道橋の負曲げ部で、一般的に採用されている孔あき鋼板ジベルを用いることにした。

文献 5)に示されたコンクリートの弾性係数は設計基準強度 30N/mm² に対して軽量コンクリートが 16 kN/mm²であり、材料特性は適正と考えられる。

荷重は載荷ステップ [0kN→100kN→0kN→200kN→0kN→340kN→0kN→640kN→0kN] で漸増繰り返し載荷を行い、最終破壊までは単純増加で載荷を行った。

表-7に各時点における設計荷重を載荷荷重の目安として示す。荷重の算出には表-6の材料特性を使用している。

(1) 終局時のひび割れ状況

図-15にスラブ上面の試験終了後のひび割れ状況を示す。図中に示す破線は、スターラップ筋の位置を示す。ひび割れ発生荷重は目視より100kN程度であった。ひび割れ間隔は荷重載荷初期においてほぼ300mm間隔程度であり、安定ひびわれ時にはスターラップ筋間隔に等しい150mm間隔となった。これより、ひび割れ間隔から

は良好な分散性が確認できた。

終局状態のひび割れ状況は、鉄筋の降伏により変位が急激に増大したため、その間隔は変わることなく、ひび割れ幅のみが増大する傾向を示した。

(2) ひび割れ幅

ひび割れ幅は試験開始前に中間支点上に配置した数個の π ゲージを用いて計測した。支点上付近に発生したひび割れを計測した π ゲージの結果より、その平均値を図-16 に示す。図より安定ひび割れ幅域のひび割れ幅は土木学会による推定式⁹⁾によく一致していることがわかる。このことから軽量コンクリートにおいても土木学会による推定値が適用できると思われる。

(3) たわみ

図-17 は、荷重点（張出し梁の先端）における鉛直たわみを示したものであり、残留たわみ分を補正した結果である。この図より荷重荷重の増加に応じて合成断面の剛性がコンクリート断面有効から〔鋼＋鉄筋〕断面へ変化していくことが伺え、設計荷重の2倍程度の荷重である 640kN 荷重時には、〔鋼＋鉄筋〕断面に近い断面剛性になっている。計算上、鉄筋と鋼梁が降伏に達し始める荷重荷重は 900kN 程度であるが、試験結果からも明らかに、剛性の低下が徐々に現れているように思われる。

なお、荷重荷重 400～600kN の範囲では〔鋼＋鉄筋〕断面を若干上回る曲げ剛性が確認でき、テンションチフニングの効果が発揮されているとも考えられる。しかしながら、図-16 に示したひび割れ幅が土木学会式に一致していることから、本供試体における安定ひび割れ域でのテンションチフニングの効果は僅少であったと考えられる。

また設計荷重レベルまでは、鉛直たわみがコンクリート断面有効のものより小さくなっている理由は、本供試体のような小型の鋼梁の場合において、孔あき鋼板ジベルの梁断面剛性への寄与が高いためと考えられる。

(4) 断面ひずみ分布、平面保持の検証

図-18、図-19、図-20 にそれぞれ荷重荷重 200kN、640kN、1000kN 時の中間支付近断面におけるひずみ分布を示す。200kN 荷重時にはコンクリート断面有効、640kN～1000kN 荷重時には〔鋼＋鉄筋〕断面として挙動を示していることが分かる。なお、ここでは示していないが、設計荷重に比較的近い 340kN 荷重時には両者の中間的なひずみ分布を示したことを付記しておく。

5. 考察およびまとめ

軽量コンクリート内部に埋め込まれたずれ止めに関

して、本研究を含め筆者らがこれまでに実施した下記の4つの荷重試験結果を要約する。

- ① 静的押抜きせん断試験
- ② 疲労押抜きせん断試験
- ③ 静的正曲げ荷重試験
- ④ 静的負曲げ荷重試験

本研究に先駆けて実施した①、②について、馬蹄形ジベルでは普通および軽量コンクリートにおけるせん断耐力において差異は生じていない。本研究は③、④を中心に論じており、③静的正曲げ荷重試験については、普通コンクリートと軽量コンクリートとの間に顕著な相違は生じておらず、また十分な曲げ耐力が確認できた。このことから、例えば単純合成桁のような構造に、軽量

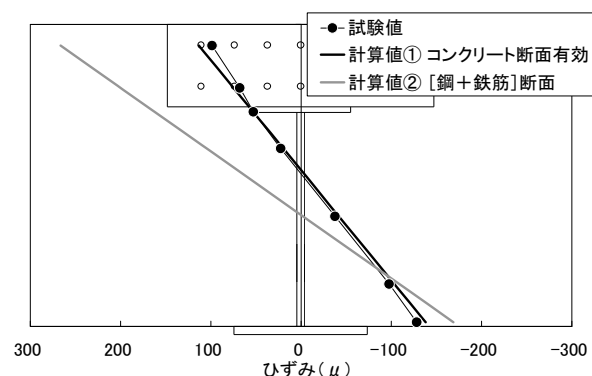


図-18 断面ひずみ(荷重荷重 200kN)

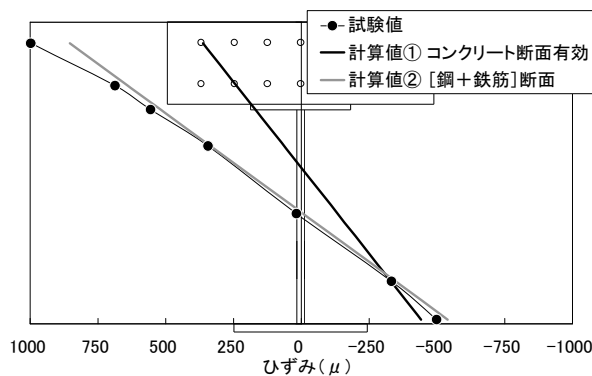


図-19 断面ひずみ(荷重荷重 640kN)

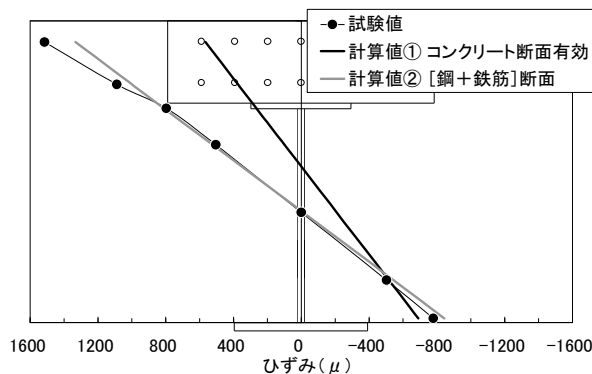


図-20 断面ひずみ(荷重荷重 1000kN)

コンクリートを用いることについての検証課題は少ないと考えられる。

一方、④静的負荷試験については、供試体のずれ止め耐力が比較的大きく設定されていて、合成桁断面の降伏が先行したこと、ずれ止め耐力の十分な確認には至っていないものの、一つの大きな目的であるひび割れ挙動についての解明が達成された。その結果、負荷を受ける軽量コンクリート梁でひび割れ間隔とひび割れ幅において問題のないことが確認された。

また、先行して実施した試験①の孔あき鋼板ジベルに関しては普通と軽量コンクリートにおいてせん断耐力に差が生じている。これは軽量コンクリートでは孔周りの骨材を含むコンクリートで、せん断破壊が生じていることによると考えられる。すなわち、馬蹄形ジベルのように支圧面が大きくコンクリートの圧壊が支配的な場合、軽量骨材を用いることに対する有意な差は現れないが、線的な局部支圧であったりコンクリートのせん断破壊が終局状態に影響する場合、軽量骨材と普通骨材の差異が生じているものと考えられる。

また、先行して実施した試験①の孔あき鋼板ジベルに関する強度評価式に対して、筆者らは新たに材料係数を考慮した提案式を示しているが、さらに試験結果を拡充し、安全で合理的な設計を追求する必要があると思われる。

参考文献

1) 千葉静雄, 橘善雄, 中井博, 矢幅健: 軽量コンクリ

ート合成げた橋の現場実験, 土木学会誌 Vol.52 No.9, 1967.9.

- 2) たとえば, 保坂鐵矢, 杉本一朗, 山田高裕, 中野幹一郎, 藤木英一: 連続合成桁の中間支点部床版に用いる鋼繊維軽量コンクリートの強度特性—阿佐線・物部川橋梁—, 土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集 I, 1999.9.
- 3) 鈴木喜弥, 阿部久義, 平城弘一, 児島哲朗, 橘吉宏: 軽量骨材コンクリートを用いたずれ止めのせん断特性に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol.50A, 2004.3.
- 4) 鈴木喜弥, 藤原良憲, 平城弘一, 児島哲朗, 辻角学, 橘吉宏: 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, 構造工学論文集 Vol.50A, 2005.3.
- 5) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・とコンクリートの複合構造物, 丸善, 2002.12.
- 6) 土木学会 鋼構造委員会 新形式の鋼・コンクリート複合橋梁調査研究小委員会: 孔あき鋼板ジベル設計マニュアル(案), 2002.11.
- 7) 阿部英彦: 鉄道用合成桁のずれ止めに関する実験的研究, 鉄道技術研究所報告 No.961, 1975.3.
- 8) 土木学会: コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 2002.3

(2007 年 9 月 18 日受付)