

新しいウェブ形式を有する複合橋の接合部に関する研究

三井住友建設㈱	土木本部	PC設計部	正会員	〇片	健一
同	上		正会員	高木	康宏
同	上		正会員	中積	健一
同	上		正会員	春日	昭夫

1. はじめに

橋梁建設コストを低減する方法として、PC橋梁分野では鋼とコンクリートを組み合わせることにより双方の利点を活用する複合化が進んでいる。特にウェブに鋼部材を採用した波形鋼板ウェブ橋や鋼トラスウェブ橋は技術的な課題の解明も進みその施工実績も増加している。しかし、一方では鋼製部材本体やコンクリートとの接合が複雑なため特殊な加工技術を必要としたり、現場での溶接作業が必要であったりと、製作・施工面において建設コスト低減の余地を残していると考えられる。そこで筆者らは、鋼板の加工を極力低減し、施工現場で鋼板の溶接を不要とした新しい鋼コンクリート複合部材である

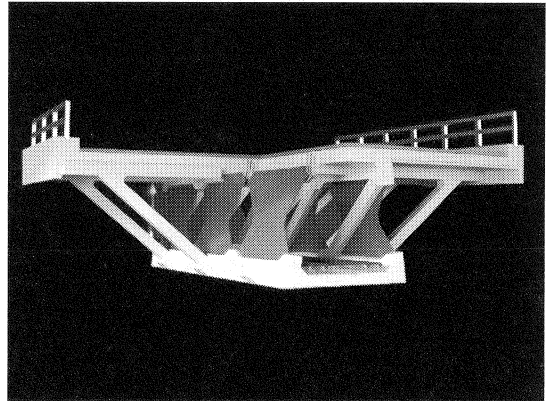


図-1 バタフライウェブ橋

「バタフライウェブ(図-1)」を考案し、そのせん断耐力試験を行い非線形解析との整合性と耐力を確認し第13回の本シンポジウム(2004.10)にて報告した。本稿は、引き続き本構造の実用化に向けた課題である、鋼板どうしの接合部の安全性を確認するために行ったせん断耐力試験に関して報告するものである。

2. バタフライウェブの特徴と課題

バタフライウェブは図-2のような、蝶型に切断した鋼板と斜め方向の補剛コンクリートを一体化させた構造である。ウェブ部材となる鋼板を連続化せずにパネル毎に独立させ、蝶型形状にすることによって、せん断力により鋼板面に発生する圧縮力と引張力の方向を限定させる。加えて、この圧縮をうける部分にスタッドを配置してコンクリートと一体化させることにより、圧縮力に対して合成断面で抵抗させると共に鋼板の面外変形を抑制させ、耐力の向上を図った構造である。この補剛コンクリートの効果とせん断耐力の確認に関しては前掲 1)にて報告しているので参照されたい。一方、バタフライウェブは鋼板が連続化されておらず一枚一枚が独立しているため鋼板どうしの間はコンクリートのみで接合される。この接合部には図-3のようにせん断力に加え曲げ圧縮力、補剛コンクリートからの圧縮力を受けるため、これらの力に対する接合部の挙動とその安全性の確認が必要である。よって縮小モデルによってこの接合部のせん断耐力試験を行った。

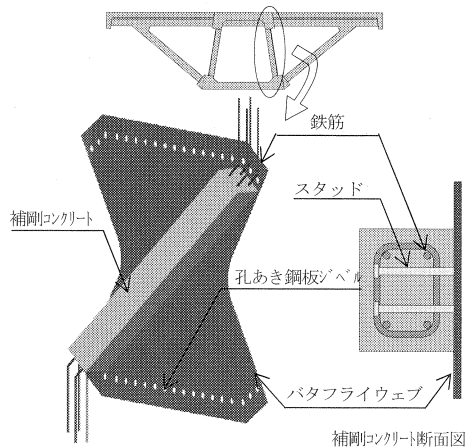


図-2 バタフライウェブの構造

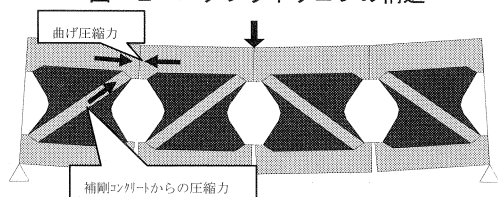


図-3 接合部に作用する力

3. 接合部梁モデルせん断耐力試験

(1) 試験目的

1) 接合部の破壊形態の確認: 本構造の接合部のコンクリートは、終局荷重時では曲げ引張側のひび割れにより、曲げ圧縮側のみでせん断に抵抗すると考えられる。加えてこの部位には補剛コンクリートから大きな圧縮力が作用するため、局部的に複雑な応力が発生していることが考えられる。よって梁モデルにより接合部に曲げとせん断の両者を作用させて接合部の破壊形態と耐力を確認する。

2) 接合部の耐力の算出: 本構造での接合部の設計方法を確立するために、本試験による耐力と文献2)でのせん断耐力算出式による値を比較し、本構造に対する適用性を検討する。本構造は支保工や張出し施工も可能であるが、接合部の構造は、上下床版の鉄筋が連続していないプレキャストセグメント工法が、ひび割れ発生後のせん断抵抗断面減少が大きく荷重に対して不利と判断し、せん断キースとした。

(2) 試験対象および試験方法

本試験の供試体を図-4、対象橋梁モデルを図-5に示す。本試験の供試体は前述の対象橋梁の1/3の縮小モデルとした。本試験では、供試体を終局曲げモーメント載荷時のひび割れ状態でせん断破壊させるために以下のように寸法を設定した。

対象橋梁の終局断面力を算出し、同一荷重による検討断面でのせん断力と曲げモーメントがともに終局断面力に近くなるように供試体の長さを設定した(表-2)。接合部は実構造物を想定してマッチキャスト方式としせん断キースでの接合形式を採用し接着剤にて接合した。また、PC鋼より線1S12.7を上下床版に8本ずつ内ケーブルで配置し、 $0.45P_{ut}$ (=82kN/本)の緊張力にてプレストレスによる応力度 σ_{pc} を 4.0N/mm^2 与えて死荷重時応力を再現した。

なお、本試験で接合部の破壊前にウェブ破壊が生じないようにウェブ鋼板厚を6mmとしてウェブ鋼板自体のせん断耐力を1066kNとしている。

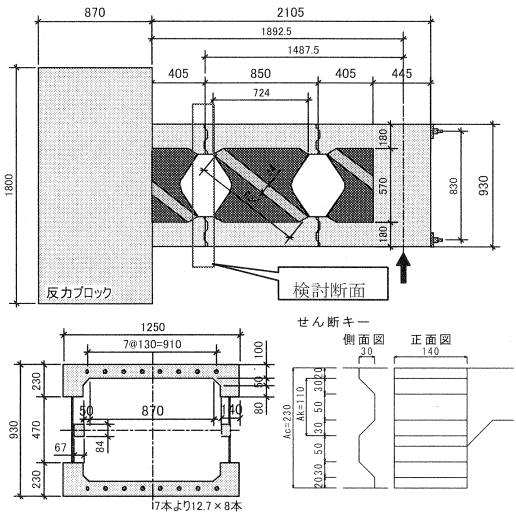


図-4 梁試験供試体

表-2 供試体に発生する断面力

	実規模	供試体			
		アーム長	鉛直荷重		
	38mモデル	1/3モデル	m	kN	
終局モーメント	kNm	-19280	-714	1.4875	480
終局せん断力	kN	-5210	-579		579

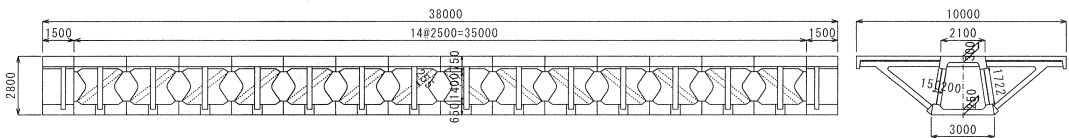


図-5 試験対象の橋梁規模

(3) 試験結果

写真-1, 2に破壊状況, 図-6に載荷荷重と載荷点の鉛直変位グラフを示す。載荷荷重420kNにて検討断面の下側床版接合部にひび割れが生じ460kNにてひび割れが貫通した。その後荷重の増加にともない上側床版での曲げひび割れも進行し、載荷荷重とともに鉛直変位が大きく増加して736kNにて検討断面の上側床版側接合部にせん断破壊が生じた。試験において荷重増加に伴いPC鋼より線の付着切れと思われる音が発生し、下床版側のPC鋼材の鋼材ひずみと桁変形からその付着切れが確認された。よって解析でも鋼材および鉄筋とコンクリートとの付着を無視したモデルとしたところ、両者がほぼ一致することを確認した。

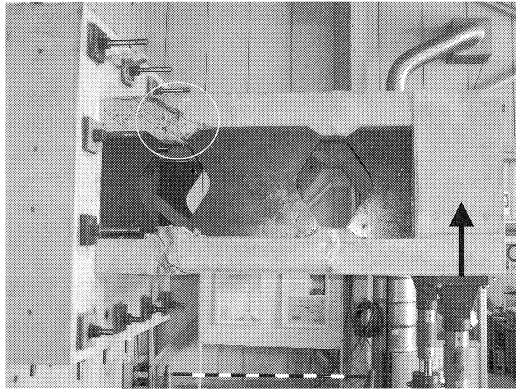


写真-1 破壊状況

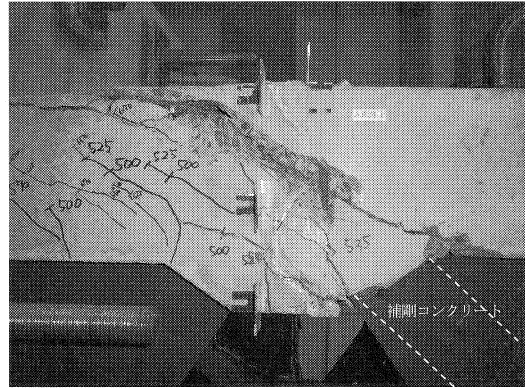


写真-2 圧縮側接合部破壊状況

また、実規模橋梁より算出した検討断面での設計終局曲げモーメントは714kNm (鉛直荷重480kN相当)であり、せん断破壊したときの作用モーメントは1095kNm (鉛直荷重736kN) であり曲げひび割れは下側接合部を貫通していることが確認された。よって破壊時のひび割れ状態は、実規模橋梁での終局状態に近いと判断できる。なお、上床版側におけるせん断破壊面は曲げひび割れ面とは異なり、せん断キーの凸部からではなく、補剛コンクリートの延長線上から発生した(写真-2)。検討断面でのコンクリート圧縮ひずみを図-7に示す。これにより載荷荷重650kNまでは接合部のひずみはバタフライウェブの内外で異なっており内側(補剛コンクリート側)の方が大きい値を示していることが明らかとなった。この接合部内側の圧縮ひずみは補剛コンクリートの圧縮ひずみと類似した値を示し、内側接合部の圧縮応力は補剛コンクリートからの圧縮力の影響が大きいことがわかる。

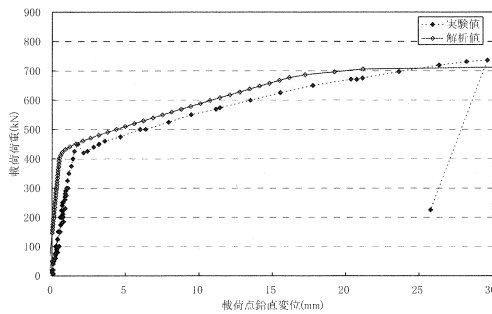


図-6 荷重-変位グラフ

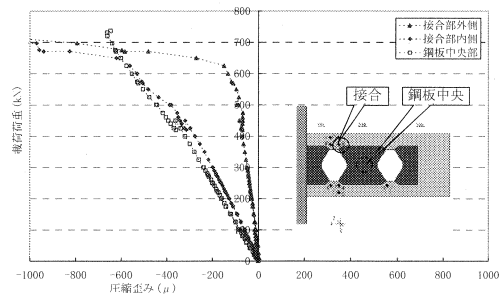


図-7 コンクリート圧縮ひずみ

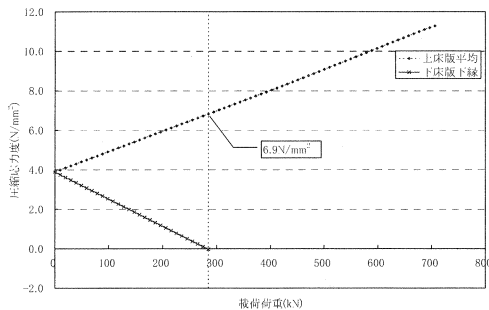


図-8 接合面圧縮応力度 (解析値)

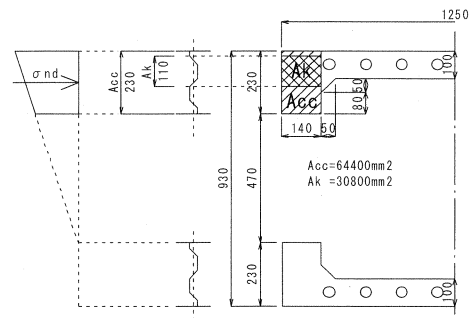


図-9 せん断キーの有効断面

(4) せん断耐力の算出

本供試体におけるせん断耐力を文献2)よりプレキャストコンクリート部材のせん断伝達耐力として算出すると以下ようになる。

$$V_{\text{cnd}} = V_{\text{cnd},c} = (\tau_c \cdot A_{\text{cc}} + V_k) / \gamma_b \quad \text{①}$$

$$\tau_c = \mu \cdot f'_{\text{cd}}{}^\beta \cdot \sigma_{\text{nd}}{}^{1-\beta}$$

$$\sigma_{\text{nd}} = -(1/2) P'_c / A_{\text{cc}}$$

σ_{nd} : せん断面に垂直に作用する平均圧縮応力度

P'_c : 圧縮側コンクリートが負担する軸方向圧縮力

β : 面形状を表す係数 1/2

γ_b : 部材係数, 一般に 1.3

μ : 固体接触に関する平均摩擦係数で 0.45

f'_{cd} : 設計圧縮強度, 設計基準強度を材料係数で除し

た値 $f'_{\text{cd}} = f'_{\text{ck}} / \gamma_m$ $\gamma_m = 1.0$ とする。

V_k : せん断キーによるせん断力 $V_k = 0.1 \cdot A_k \cdot f'_c$

A_k : せん断キーのせん断面における圧縮側部分断面積

A_{cc} : せん断面の圧縮側面積

本試験供試体の耐力算出では, 上側床版に配置されたPC鋼材によるせん断耐力は無視し, 部材の安全係数は1.0として, 式中の f'_{cd} には供試体圧縮強度(49.4N/mm²)を用いた。また本構造ではせん断破壊時には引張側の床版は曲げひびわれが完全に貫通しているとして, せん断面の平均圧縮応力度 σ_{nd} は非線形解析より算出した, 下床版下縁が引張となる時の上床版平均応力度を6.9N/mm²を用いて(図-8), 補剛コンクリートからの圧縮力は考慮しないものとした。また, せん断面の圧縮側断面積 A_{cc} は, 圧縮床版側の接合部分の断面積のみとし, A_k はキーの破壊面を考慮して図-9のように設定した。

上式で算出されるせん断耐力は692kNとなる。一方, 試験値736kNであり, 算出された値と近い値を示した。また, 試験値は試験対象の実規模橋梁の断面力から算出した終局せん断力(579kN)も上回るため, 本構造の接合部が実規模橋梁においても適用が可能であり, その耐力は上式①よって算出できることが確認された。

4. まとめ

本試験により, バタフライウェブに関して以下の知見が得られた。

- (1) バタフライウェブ間のコンクリート接合部をプレキャスト部材とした場合に関して, 終局時の曲げひび割れを考慮した状態でせん断耐力試験を行い, 荷重-変位関係が解析と一致することが確認された。
- (2) 同コンクリート接合部のせん断耐力は, 曲げ圧縮応力度を用いて既往の算出式から求めることができることを確認した。

今後の課題としては, すでに報告したバタフライウェブ本体も含め, 設計手法の確立を行うことにより本構造の設計手法を体系的に構築することがあげられる。また, 本構造はコンクリートにて鋼板を補剛させ, せん断耐力の向上を図っているため, 鋼板, および接合部の設計に関して前述の設計手法が適用できる範囲を明確にし, バタフライウェブが適用可能な桁高や支間を明確にすることである。

参考文献

- 1) 片, 高木, 中積, 春日: 新しいウェブ形式を有する複合橋の関する研究, 第13回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 413-416, 2004. 10.
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書[構造性能照査編], pp. 168-171, 2004. 3
- 3) 土木学会: 座屈設計ガイドライン, pp. 161-162, 1987. 10