孔あき鋼板ジベルを用いた鋼繊維補強軽量2種コンクリート合成桁の曲げ挙動

九州大学大学院　学生会員　　○梶原秀夫　崔智宣　園田崇智
九州大学大学院　フェロー会員　日野伸一　正会員　山口浩平　柴田博之

1. 目的

軽量2種コンクリートは，粗骨材に加え，細骨材全てまたは一部にも人工軽量骨材を用いたコンクリートである．しかし，引張およびせん断強度が小さいため，改善方法として鋼繊維などによる補強が考えられる．

また，鋼･コンクリート合成部材のずれ止めとして，疲労特性や施工性に優れた孔あき鋼板ジベル（以下，PBL）が注目されている．しかし，合成桁の床版に鋼繊維補強された軽量2種コンクリートを用いた場合の研究は皆無である．

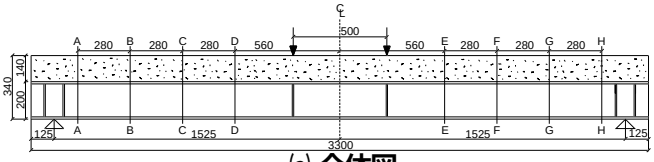
そこで本研究では，著者らがこれまでに提案したPBLのせん断耐力評価式[1)]の適用性を検討するために合成桁の曲げ試験を行い，曲げ耐荷特性，ずれ特性を把握した．

2. 曲げ試験

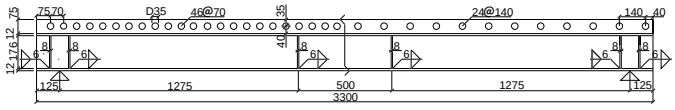
試験体は，**表-1**に示すようにコンクリート種類を普通コンクリート（以下N）と軽量2種コンクリート（以下SL），孔心間隔を70mmと140mmとした計3タイプとした．試験体概略図を**図-1**に示す．試験体全長を3300mm，スパンを3050mm，せん断スパンを1275mmとした．RC床版は幅300mm，高さ140mm，鋼桁はH 200×200×8×12mm（SS400，降伏強度349N/mm^2），PBL（SS400，降伏強度281N/mm^2）は高さ75mm，板厚12mm，孔径35mmを使用した．貫通鉄筋はD13（SD295，引張強度487 N/mm^2），せん断補強筋はD10（SD295，降伏強度358 N/mm^2）を使用した．粗骨材および細骨材は全て膨張頁岩系の人工軽量骨材を，繊維は直径0.62mm，長さ30mmのフックエンド型鋼繊維を使用した．コンクリートの設計圧縮強度は40N/mm^{2}とした．載荷形式はスパン中央部に載荷幅500mmの2点静的線載荷とした．

表-1 供試体種類および材料特性値

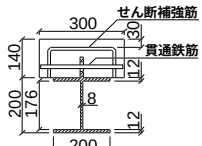
タイプ	コンクリート種類	鋼繊維混入率 (%)	孔径 (mm)	孔心間隔 (mm)	圧縮強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)
SL12@70	軽量2種	1.2	35	70	44.5	15.6
SL12@140	軽量2種	1.2	35	140		
N00@140	普通	0	35	140	34.4	26.9



(a) 全体図



(b) 鋼桁



(c) 断面図

図-1 試験体概略図

3. PBLのずれ止めの設計

PBLの孔心間隔は，SL12@70およびN00@140は，終局曲げ耐力時に接合部がずれ破壊しないように，SL12@140はずれ破壊するように決定した．PBLの耐力算定にはNは式（1）[2)]を，SLは著者らが提案した式（2）[1)]を用いた．

$$Q_{u普通} = 1.45\cdot\{(d^2-\phi^2)\,f'_{cu}+\phi^2 f_{st}\}/10^3-26.1 \quad (1)$$

$$Q_{u軽量} = 1.26\cdot\{0.5\cdot(d^2-\phi^2)\,f'_{cu}+0.74\cdot\phi^2 f_{st}\}/10^3-28.3 \quad (2)$$

Q_u:孔1個あたりの終局水平せん断力（kN）
d :孔径（mm）
ϕ :貫通鉄筋径（mm）
f'_{cu}:コンクリートの圧縮強度（N/mm^2）
f_{st} :貫通鉄筋の引張強度（N/mm^2）

・S_{vu}を求める場合

$$H_F = Q_u/孔心間隔 \quad (3)$$

・S_{va}を求める場合

$$Q_a = Q_u/3 \quad (4)$$

$$H_F = Q_a/孔心間隔 \quad (5)$$

H_F:床版-鋼桁間に作用する水平せん断力（kN/mm）[3)]
（$H_F = a_c\cdot A_c\cdot S_v/I$ (6)）
a_c:合成桁と床版の図心間距離（mm）
A_c:床版の有効断面積（鋼換算）（mm^2）
S_v:作用せん断力（kN）（$S_v = P/2$　P:荷重）
I :断面2次モーメント（鋼換算）（mm^4）
Q_a:孔1個あたりの許容水平せん断力（kN）[4)]

水平せん断力H_Fと曲げ耐力P_uを比較できるように式(4)を用いてH_Fを荷重方向の作用せん断力S_vに変換した．式(1)～(3)，(6)を用いて，S_vを2倍した値である終局作用せん断力S_{vu}とP_uが一致するように孔心間隔を求めた．算定結果を**表-2**に設計値として示す．同表のS_{va}は式(1)，(2)，(4)～(6)より算出したS_vを2倍した値であるPBLの許容作用せん断力である．同表より，孔心間隔74.2mmであれば，P_uとS_{vu}が385kNであることがわかる．設計荷重P_aおよび降伏荷重P_yは鋼桁下フランジ応力度が140 N/mm^{2}時および245 N/mm^{2}時の荷重である．また，同表の計算値はコンクリートおよび鋼材の材料特性値を反映させたものである．また合成桁のせん断耐力は686kNであり，曲げ耐力を上回るようにした．

キーワード　合成桁，PBL，軽量コンクリート
連絡先　〒819-0395　福岡県福岡市西区元岡744　Tel：092-802-3392

4. 結果および考察

試験結果を**表-3** に示す．曲げ耐力は各タイプともほぼ同等の値を有しており，コンクリートの種類，孔心間隔の影響はほとんど見られなかった．また，最大荷重の計算値に対する比は各タイプで 0.95，0.91，1.03 とほぼ一致している．**図-2** に荷重-スパン中央たわみ関係を示す．載荷はたわみが 50mm となるまで続けた．各試験体とも破壊形式はスパン中央部コンクリート上縁の圧壊であり，破壊に伴い一旦荷重が低下したが，その後は鋼桁部分が荷重を負担したと考えられ，載荷終了までほぼ一定の荷重を保ち続けた．**図-3** に設計荷重相当 150kN，最大荷重相当 440kN 時の鋼桁上フランジと床版下面の水平方向の相対変位分布を示す．計測位置は**図-1 (a)** 全体図の A～H である．荷重 440kN 時において，孔心間隔の相違による比較では，同計測位置において 70mm に対して 140mm は最大で約 12 倍，コンクリート種類の相違による比較では，N に対して SL は最大で約 4 倍の相対変位が計測された．**図-4** に**図-1 (a)** 全体図の断面 E のひずみ分布を示す．荷重 150kN 時は全タイプともひずみ分布はほぼ直線であり，一体性が保たれて完全合成桁として挙動していたと考えられる．一方，荷重 440kN 時は，SL12@70，N00@140 はひずみが多少ばらついてはいるものの概ね一体性を保持していると考えられるが，SL12@140 は他のタイプと比べて床版-鋼桁間のひずみ差が大きく，不完全合成桁として挙動していると考えられる．

5. まとめ

本試験においては合成桁の曲げ耐力は PBL の孔心間隔，コンクリートの種類の違いによる影響はほぼないことがわかった．また，ずれ特性に関しては PBL の孔心間隔を 70mm から 140mm にすることで同計測位置において最大で約 12 倍，普通コンクリートから軽量 2 種コンクリートにすることで最大で約 4 倍の相対変位が計測された．さらに，各タイプで完全合成または不完全合成となるような設計を行ったが，設計では一体性の保持の有無という観点からは提案式が適用できることが明らかになった．しかし，ずれ破壊するように設計したタイプは，不完全合成挙動を示したものの曲げ破壊した．この要因としては二面押抜きせん断試験と曲げ試験におけるずれ挙動の違いによるものおよび式（2）[1)]が相対変位 10mm までの最大荷重を耐力とした式であるためと考えられる．今後，両試験結果の対応関係を検討していく必要がある．

参考文献 1)山口浩平他:鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリートを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価，構造工学論文集 Vol.55A，pp.1114-1121，2009 年 3 月． 2)保坂鐵矢他:孔あき鋼板ジベルのせん断特性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.46A，pp.1593-1604，2000 年 3 月． 3)日本道路協会:道路橋示方書･同解説Ⅱ鋼橋編，2002 年． 4)土木学会:孔あき鋼板ジベル設計マニュアル(案)，pp.10，2001 年．

表-2 設計値

-	タイプ	曲げ耐力 (kN)			作用せん断力* (kN)	
		許容P_a	降伏P_y	終局P_u	許容S_{va}	終局S_{vu}
設計値	孔心間隔74.2mm	172	302	385	168	385
	SL12@70				179	408
	SL12@140				89.5	204
	N00@140				189	431
計算値	SL12@70	157	391	487	231	361
	SL12@140				116	180
	N00@140	171	426	437	195	479

*式（6）S_vの 2 倍

表-3 試験結果 (曲げ耐力)

タイプ	実験値 (kN)			実験値/設計値
	許容P_a	降伏P_y	終局P_u	終局P_u
SL12@70	172	397	461	0.95
SL12@140	171	390	441	0.91
N00@140	180	-	450	1.03

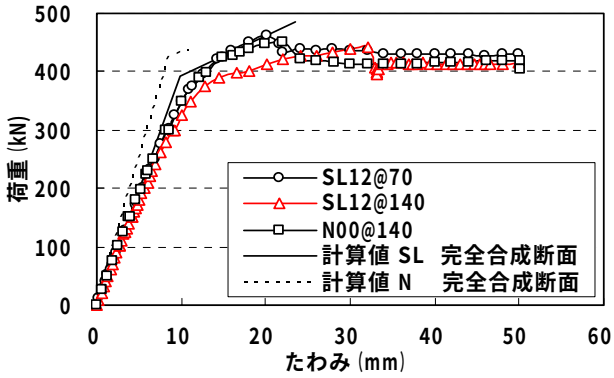


図-2 荷重-スパン中央たわみ関係

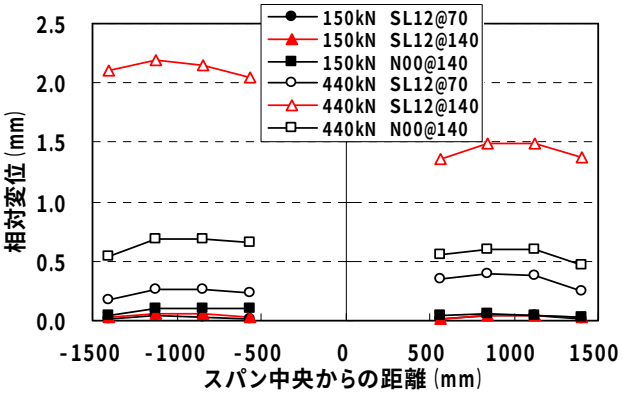


図-3 相対変位分布

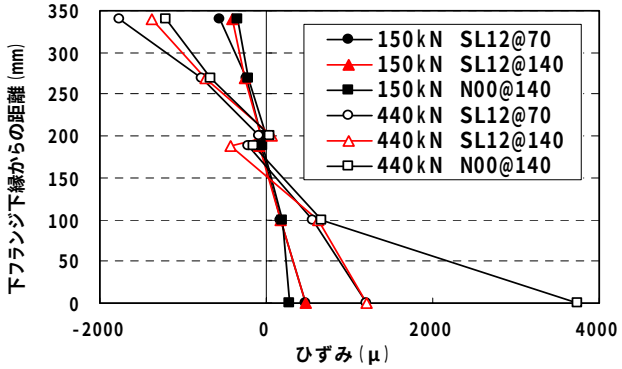


図-4 スパン中央から 560mm 位置のひずみ分布