

論文 施工目地のある PC 梁のせん断破壊性状に関する研究

大庭光商*¹・下大園浩*²・新堀敏彦*³・石橋忠良*⁴

要旨：鉄道の線路下横断構造物において、横断方向に長い正方形断面のエレメントを線路方向にPC鋼材で緊結してスラブ桁形式を採用する場合、スターラップは1d（d：有効高さ）程度の間隔にならざるを得ない。このため、せん断補強筋量と配置、プレストレス、および施工目地をパラメータにスラブ桁の載荷試験を行った。

試験の結果、スターラップの配置間隔が1d程度でも十分な補強効果が得られた。また、施工目地を有するものは1体ものに比べて15%程度せん断耐力が小さいことがわかった。

キーワード：施工目地、スターラップ間隔、せん断耐力、プレストレス

1. はじめに

URT (Under Railway Tunnelling) や PCR (Prestressed Concrete Roofing) 工法等は、盛土等の線路下で線路直角方向に1m×1m程度の断面のエレメントを挿入し、線路下掘削時の列車荷重を受け持つ仮設構造物として機能させるとともに、最終的には本体利用し鉄道の線路下横断構造物を構築する工法である。構築構造物が矩形断面の場合、一般に各エレメントは横桁となり、これをエレメント端部で線路方向に配する主桁で剛結して下路桁形式とするが、支持する線路本数が多いとエレメント断面が大きく、かつ主桁高も大きなものとなる（図-1）。そこで、PC鋼材で各エレメントを線路方向に緊結して床版を構成し線路方向に配する主桁を無くしスラブ桁形式とすることで、これらの工法の適用範囲が拡大してきている。

エレメントは工場製作のプレキャスト部材で、挿入時の土砂排出のために中空としてある。また、隣り合うエレメント間にも数cmの間隙が生じる。これらにはPC鋼材を挿入した後、コンクリートまたはモルタルを現場で充填、緊張し床版とする。このようにスラブ桁方式とする場合は、スターラップの配置は1d程度の間隔にならざるを得ないためせん断耐力の評価が問題となる。

本文は、プレキャストブロックのエレメントをPC鋼材で緊結した梁のせん断破壊性状を把握するためにスターラップの配置

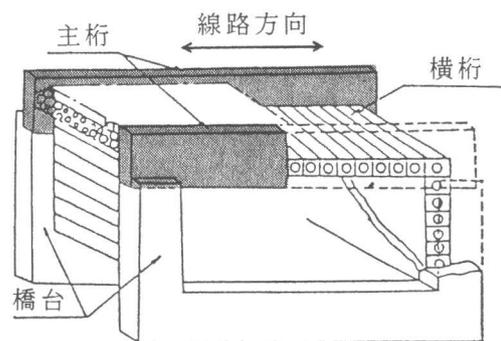


図-1 URT・PCR工法の概念

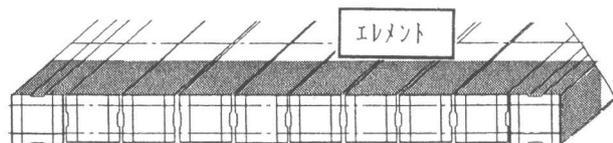


図-2 床版のモデル化

- * 1 東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所工事管理室（正会員）
- * 2 東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室
- * 3 東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室
- * 4 東日本旅客鉄道(株)建設工事部担当部長、工博（正会員）

間隔、プレストレス、および施工目地の有無に着目した試験を行ったので、その結果について報告する。

2. 実験概要

実験はエレメントを緊結してできる床版の一部を模した梁にて行った(図-2)。表-1に試験体の種類を示す。試験体は、いずれも1辺35cmの正方形の充実断面とし、圧縮・引張側ともにφ23mmの総ネジPC鋼棒各3本配置した。

A、Bシリーズは、いずれも打継目の無い一体梁で、せん断スパンと有効高さの比 $a/d=2.91$ とした。Aシリーズはスターラップの配置に着目した試験体で、等間隔配置(A-1)、エレメント側壁部を想定した位置に2組と土砂排出孔の中心を想定した位置に1組(A-2)、エレメント側壁部を想定した位置に各1組とエレメント間の目地部を想定した位置に1組(A-3)の3パターンとした。

Bシリーズは、Aシリーズと同様のスターラップ配置の試験体(A-2,3)に 2.94N/mm^2 のプレストレスを導入したものである。なお、B-1とA-2、B-2とA-3はスターラップの配置が各々対応している。

Cシリーズは、エレメント間の打継目の影響を把握するために、プレキャスト部と後打ち部を設け 2.94N/mm^2 のプレストレスを導入して一体化を図ったものである。また、スターラップは、エレメント内(側壁部)に2組とエレメント目地部に各1組配置した。なお、2つの試験体はせん断スパン内における目地の位置を変化させた。

Dシリーズはせん断スパン比が小さい範囲($a/d=1.75$)でのせん断耐力を検討するための試験体で、梁断面は他の

表-1 試験体種別

シリーズ番号	供試体No	コンクリート打設方法	a/d	導入プレストレス(N/mm ²)	スターラップの配置パターン
A	A-1	一体打ち	2.91	0	等間隔配置
	A-2	一体打ち	2.91	0	エレメント, 想定目地
	A-3	一体打ち	2.91	0	想定目地
B	B-1	一体打ち	2.91	2.94	エレメント, 想定目地
	B-2	一体打ち	2.91	2.94	想定目地
C	C-1	ブロック	2.91	2.94	目地
	C-2	ブロック	2.91	2.94	目地
D	D-1	ブロック	1.75	2.94	目地

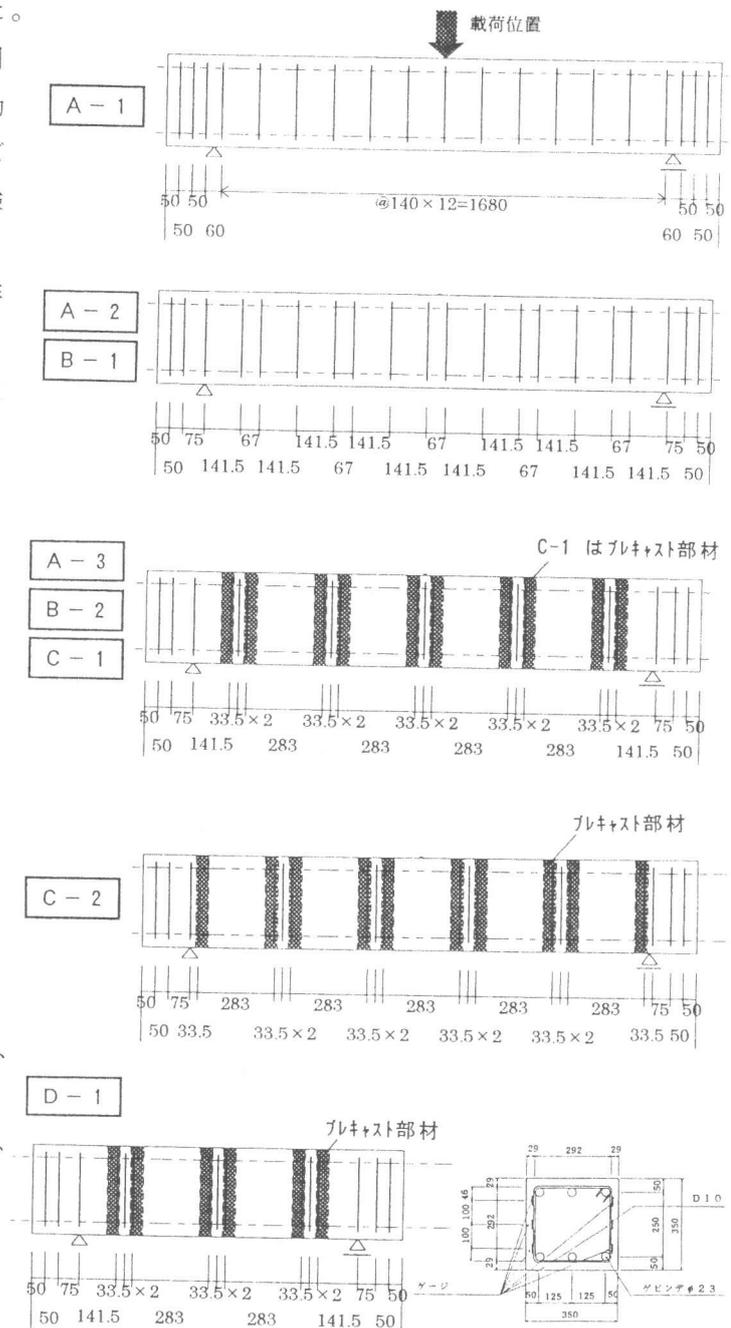


図-3 試験体の形状・寸法とスターラップの配置

試験体と同様で、梁の長さ（せん断スパン）を短くしたものである。なお、いずれの試験体もせん断破壊が先行するように設

表-2 コンクリート強度

試験体 No	(N/mm ²)							
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1
コンクリート強度 (CASE3, 4: 後打部)	5.24	5.31	5.28	4.68	4.59	3.96	3.88	3.93
プレキャスト部コンクリート強度	—	—	—	—	—	4.83	4.76	4.44

計してある。各試験体の形状・寸法、およびスターラップの配置を図-3に示す。実験に使用したコンクリート、および鋼材強度を表-2、3に示す。荷重の載荷はいずれの試験体も1点集中荷重とした。

表-3 鋼材強度

種類	(N/mm ²)	
	P C 鋼棒 (φ23mm) SBPD 930/1080	鉄筋 (D10) SD295A
降伏点	1080	372

3. 実験結果

図-4に試験体のひびわれ、破壊状況を、表-4に実験結果を示す。

A-1では最初にスパン中央付近の下側に曲げひび割れが発生したが、最終的にはせん断スパン中央付近に発生した曲げひび割れが斜めひび割れに進展し破壊面となった。A-2もA-1と同様のひび割れの進展と破壊面を形成した。

せん断補強鉄筋の配置間隔が大きいA-3は、他の試験体と同様最初にスパン中央付近の下側に曲げひび割れが発生、その後せん断スパン中央付近の曲げひび割れが斜めひび割れに進展した。しかしながら最終的な破壊面は、せん断スパン中央付近のスターラップが降伏した後、支点付近に発生したひび割れが載荷点を結ぶひび割れに進展し、スターラップと交差することなく上縁の圧縮鋼材に沿ったものとなった。なお、スターラップは、ひずみ測定の結果いずれの試験体もせん断スパン中央付近のものから降伏した。

Bシリーズはコンクリートを1回打設した後、2.94N/mm²のプレストレスを導入したものである。B-1は明確なせん断破壊面を形成しながら、ほぼ同

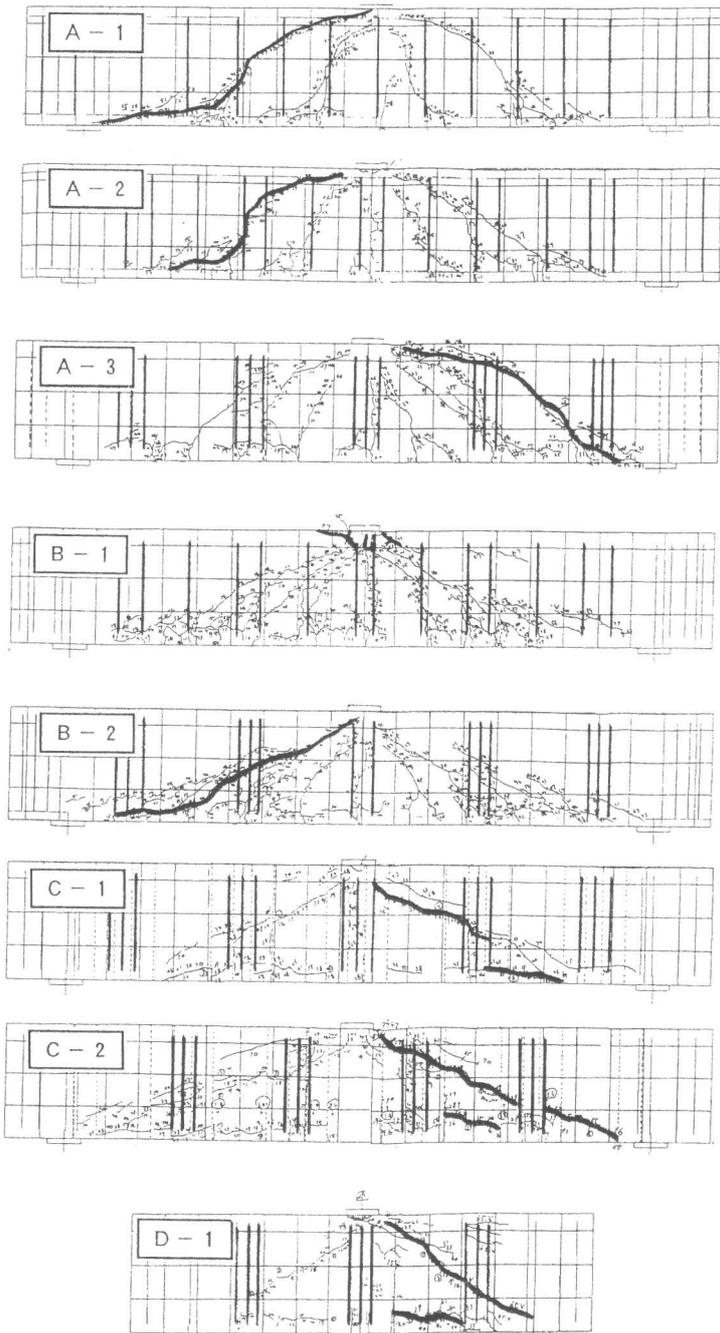


図-4 試験体のひび割れ・破壊状況

時に載荷点付近のコンクリートが圧壊し、曲げ破壊に至ったが、せん断耐力もほぼ上限値と思われた。B-2 は曲げ破壊荷重の計算値を若干越えたものの、最終的には支点と載荷点を結ぶひび割れが進展しせん断破壊した。なお、B-2 はスターラップの配置が等しいA-3 に比べて破壊面の角度は小さくなっている。スターラップはAシリーズ同様せん断スパン中央付近のものから降伏し、B-1 においては4本、B-2 においては3本が降伏した。Cシリーズは打継目を有する試験体で、最初に打継目付近にひび割れが生じ、荷重の増加とともに打継目に沿って長くなり、途中から載荷点に向かって斜めに進展した。破壊面は一体打ち梁のような1つの連続した面とはならず、支点と載荷点を結ぶ面とスターラップ間で軸方向鋼材に沿う複数の破壊面となった。Dシリーズはせん断スパン比が小さい試験体であるが、本試験体のみが計算上のせん断耐力に達する前にせん断破壊に至った。破壊直前のひび割れ幅は、他の試験体に比べて小さく、脆性的破壊となった。

表-4 実験結果

供試体 No.	曲げひび割れ発生荷重 (kN)	破壊荷重 P_{max} (kN)	せん断耐力計算値(kN)			曲げ耐力 (kN)	$\frac{P_{max}}{P_{csd}}$
			V_{cd}	V_{sd}	P_{csd}		
A-1	66.6	555.7	138.3	102.4	481.4	740.8	1.15
A-2	66.6	648.8	138.8	123.0	523.6	741.9	1.24
A-3	58.8	659.5	138.5	123.0	523.0	741.9	1.26
B-1	98.0	858.5	139.8	118.1	515.8	825.2	1.66
B-2	90.2	835.9	139.0	117.6	513.2	823.2	1.63
C-1	119.6	708.5	132.4	115.6	496.0	811.4	1.43
C-2	94.1	686.0	131.5	115.2	493.4	809.5	1.39
D-1	127.4	640.9	208.8	115.2	648.0	1350.4	0.99

$$P_{csd} = 2(V_{cd} + V_{sd})$$

4. せん断耐力の算定

せん断耐力の計算は、(1) 式により求めた。

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd} \quad \text{-----(1)}$$

ここで、

V_{cd} : コンクリートの負担分 V_{sd} : せん断補強鉄筋の負担分

コンクリートの負担分は、 a/d により二羽らの式 [1]、石橋らの式 [2] を用いた。

$$V_{cd} = 0.94 \{0.75 + 1.4d/a\} f'c^{1/3} \cdot \beta_p \cdot \beta_d \cdot \beta_n \cdot b_w \cdot d \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 $a/d \geq 2.5$

$$V_{cd} = 3.58(a/d)^{-1.166} \cdot f'c^{1/3} \cdot \beta_p \cdot \beta_d \cdot \beta_n \cdot b_w \cdot d \quad \text{----- (3)}$$

ただし、 $2.5 \geq a/d \geq 0.5$

ここで、

$f'c$: コンクリートの圧縮強度

$$\beta_d = (100/d)^{1/4} \quad \beta_p = p_w^{1/3} \quad (p_w = A_s / (b_w \cdot d))$$

$$\beta_n = 1 + 2M_o/M_u \quad (M_o : \text{曲げ耐力})$$

(M_o : 引張縁において軸方向力により発生する応力を打消すのに必要な曲げモーメント)

$$Vsd = A_w f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / s_s \cdot z \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

$$z = d / 1.15$$

A_w : 区間 s_s におけるせん断補強鉄筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強鉄筋の降伏強度

α_s : せん断補強鉄筋が部材軸となす角度

5. 考察

各試験体のスターラップのひずみを図-5に示す。

a/d の小さなD-1を除きスターラップの間隔、プレストレス、および打継目の有無にかかわらず、支点付近のスターラップ以外は降伏し、有効に作用しているのがわかる。

実験ではスターラップが降伏した後も荷重はさらに増加し、計算値に対する実験値の比は、Aシリーズで1.15~1.26、Bシリーズ1.63~1.66、Cシリーズ1.39~1.43となり、いずれも計算値を上回る結果となった。

(1) スターラップ配置の影響

Aシリーズはスターラップの配置間隔と補強量を変えたものである。せん断耐力は計算値に比べて実験値がいずれも大きくなっている。また、せん断補強量が多く、かつせん断スパン中央付近の補強量が多いA-2、A-3はスターラップを等間隔に配置したA-1に比べ計算値に対する実験値の比が大きくなっている。

A-2とA-3、B-1とB-2は補強筋の配置が異なるが、計算上のせん断補強筋の負担分は等しい。実験の結果、各々の破壊荷重はほぼ等しく、配置間隔の影響はみられない。これはせん断スパン中央付近にせん断補強筋を配置しているためと思われる。

(2) プレストレス導入の影響

BシリーズはAシリーズ(A-2,3)と同配筋の試験体にプレストレスを導入したものである。プレストレスの導入によりコンクリートが負担するせん断耐力は計算上若干増加する($\beta_n=1.05$)が、計算値に対する実験値の比は1.63~1.66とAシリーズに比べると30%

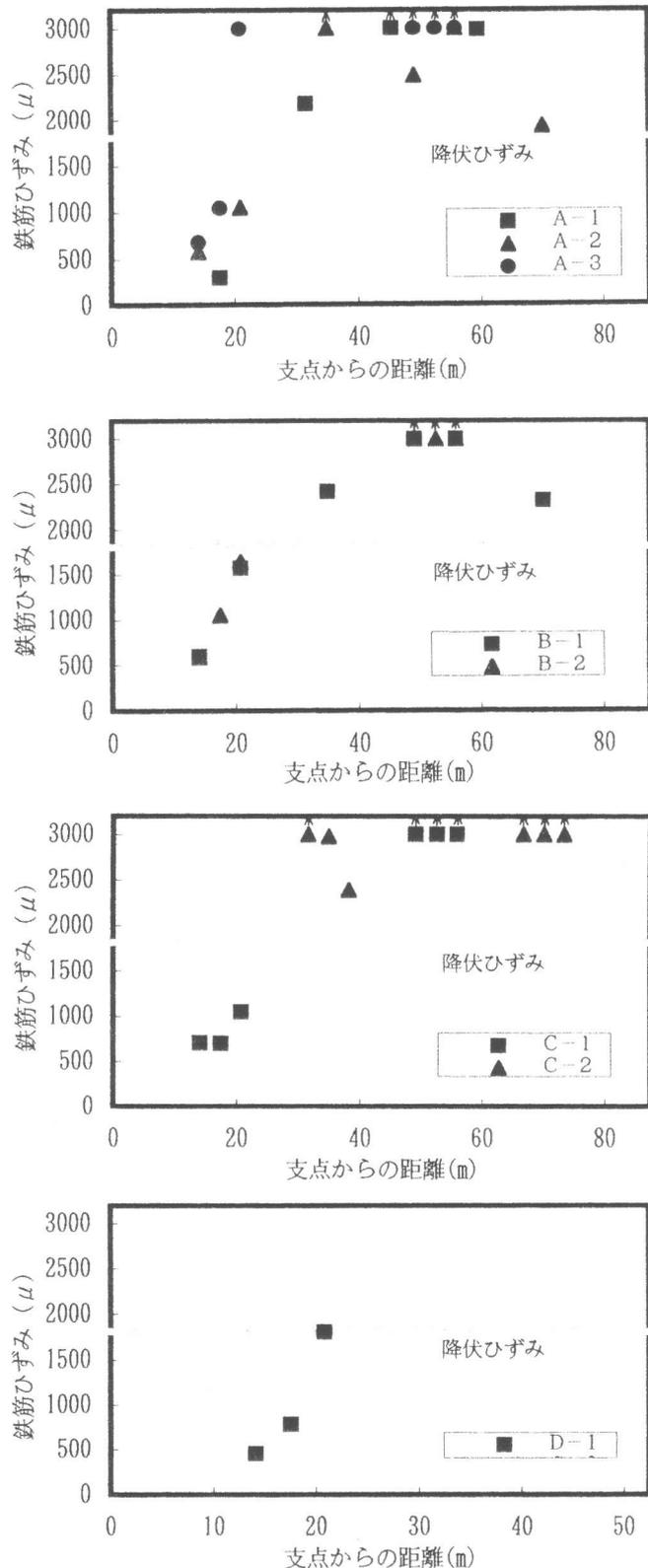


図-5 スターラップのひずみ

程度増加している。せん断スパン中央付近に配置したスターラップが、A-3 では470kN で降伏したのに対して、B-2 では578kN で降伏している。スターラップが降伏するまで、降伏から破壊いたるまでの耐力の余裕は、プレストレスを導入した試験体が大幅に上回る結果となった。

(3) 施工目地の影響

C、Dシリーズはプレキャスト部材間に現場打ち部の目地を設けてある。せん断ひび割れは目地を貫いて発生し、破壊面も複数のエレメントにまたがっていたが、目地部でのズレがみられた。今回のようにプレストレスにより各エレメントを緊結、一体化を図ることで実験上のせん断耐力は計算値を上回ったものの、目地のある試験体のせん断耐力は、目地の無いものに比べ15%程度低下する結果となった。

(4) せん断スパン比の影響

D-1 の試験体は、破壊面となったひび割れがせん断補強筋と交差したものの、せん断スパン中央側の1本が降伏したのみでトータルのひずみは小さい。計算値と実験値の比は、ほぼ1.0での試験体に比べると最も小さく、スターラップは有効に作用していないようである。

6. まとめ

今回の試験により得られた知見をまとめると以下のようである。

- (1) スターラップの配置間隔が1d程度でも十分なせん断補強効果が得られた。
- (2) プレストレスを導入したものは、 β_n の効果以上に大きなせん断耐力が得られた。
- (3) 目地の存在は、目地の無いものに比べて15%程度せん断耐力が低下するが、計算値に比べると十分な耐力を有していた。
- (4) せん断スパン比が2以下の場合、スターラップのせん断補強効果は小さいようである。

参考文献

- [1] 二羽・山田・横沢・岡村：せん断補強鉄筋を用いないRC梁のせん断強度式の再評価、土木学会論文集，第372号/V-5, pp.167～176, 1986.8
- [2] 石橋・松田・斉藤：少数本の杭を用いたフーチングのせん断設計について、土木学会論文集，第337号/V-5, pp.197～204, 1983.9
- [2] 下大藪・松沢・金子：プレキャストブロックを緊結したPC梁の破壊性状について、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集, pp914～915, 1995