

分割施工されるプレキャスト桁のアンカープレート寸法と補強鉄筋に関する実験

愛知工業大学 土木工学科 正会員 大泉 雄一
 愛知工業大学 土木工学科教授 青木 徹彦
 ㈱エスイー 営業本部技術部 正会員 ○木部 洋
 ㈱ダイセン 技術部 杉江 亜希子

1. はじめに

道路計画、種々の条件により暫定幅員で施工し、将来は拡幅する場合があるPC桁については分割または分離施工することになるが、以下のような設計および施工上いくつかの問題が生ずる。すなわちプレキャスト桁を分割施工する場合、縦目地を設け分割とする方法、または定着された横締め鋼材を接続具により接続し、継ぎ足し緊張を行い一体化する方法が考えられる。分離施工とする場合、施工は容易となるが、クリープ差等により新旧の主桁のたわみ差により縦目地に沿って段差が生じ、走行性の問題が生ずる。一方一体化施工とすれば走行性は改善されるが、横締め鋼材をストランドケーブルとした場合、接続具が大きく、接続部の床版支間および床版厚を大きくとる必要がある。したがって一体化施工の場合、PC鋼棒を使用する機会が多い。しかし広幅員の場合、PC鋼棒は、長さの制約上数ヶ所の接続が必要となり施工が複雑となるため横締めPC鋼材はストランドケーブルでかつ、ねじ定着方式の接続具を有するものが最適であると考えられる。

この条件を満たすPC定着工法の1つに、SEEE工法がある。しかしながら、プレテンションT桁の床版厚は160mmであり、SEEE工法の1S21.8用定着具のアンカープレートの標準寸法(150mm×150mm)では、十分なかぶりが確保できない。かぶり(25mm)を確保しようとするアンカープレート短辺寸法を $160-25 \times 2 = 110$ とする長方形プレートとする必要がある。アンカープレートの寸法は、定着部の耐力に大きく影響を及ぼすが、これに関する研究は十分ではない。そこで本研究では三種類のプレートについて補強鉄筋量を変えて性能試験を行なった。さらに定着具と補強鉄筋の関係を決定するため、三次元弾性FEM解析を行い、割裂応力の発生状態などを、実験結果と比較検討を加え、定着部の安全性を確認した。

2. 実験概要

2.1 コンクリート

本実験では、プレテンション方式のT桁橋を想定し、コンクリートは設計基準強度 $50\text{N}/\text{mm}^2$ のものを使用した。材料は、PC工場で使用されているもので、材料の物理特性と示方配合を表-1および表-2に示す。載荷実験時に実施したコンクリートの強度試験を表-3に示す。載荷実験の材令は実際の施工を考慮して28日強度とした。平均の強度は圧縮で $53.5\text{N}/\text{mm}^2$ 、引張は $3.8\text{N}/\text{mm}^2$ 、弾性係数は許容応力度付近で $34.1\text{KN}/\text{mm}^2$ 、破壊応力度付近では $26.0\text{KN}/\text{mm}^2$ であった。またポアソン数は許容応力度付近で6.09、破壊付近で2.92となった。

表-1 使用材料の物理特性

材料	種別	比重	備考
セメント	早強ボルトランドセメント	$C\rho = 3.14$	
細骨材	川砂	$S\rho = 2.62$	FM=2.83
粗骨材	川砂利	$G\rho = 1.00$	FM=6.72
水	地下水	$W\rho = 2.64$	
混和剤	減水剤	$F\rho = 1.075$	
混和剤	AE剤	$A\rho = 1.06$	

表-2 示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量(Kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤 F	AE剤 F _A
20	12	4.5	36.0	40.0	155	431	695	1066	2.15	0.108

表-3 コンクリートの物理特性

材令 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)		ポアソン数	
			許容応力時	破壊応力時	許容応力時	破壊応力時
28	53.5	3.8	34.1	26.0	6.09	2.92

2.2 対象PCケーブル

SEE工法 F60 (1S21.8) 引張荷重 $P_u = 573 \text{ K N}$ 降伏点荷重 $P_y = 495 \text{ K N}$

2.3 供試体の種類

(1) コンクリート部材寸法

コンクリート部材寸法を図-1に示す。

床版厚 160mm, ケーブル間隔 500mm より

供試体の寸法は $a = 160 \text{ mm}$, $b = 500 \text{ mm}$

$h = 160 \times 2 + 40 = 360 \text{ mm}$ とする。

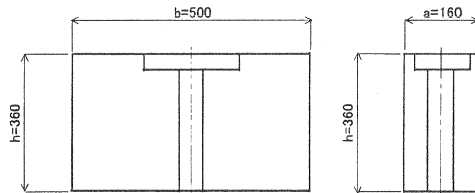


図-1 部材寸法

(2) アンカープレート

SEE工法 F160 (1S21.8) の標準アンカープレート寸法は $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 厚さ 40mm である。

工場製作のプレキャスト部材は、最小かぶり 25mm より短辺寸法を $160 - 2 \times 25 = 110 \text{ mm}$ 一定とし、長辺寸法を 170mm, 205mm, 240mm の 3種類とする。

(3) 補強鉄筋量

各試供体の割裂応力度に対する補強鉄筋量は、部材寸法とプレート幅の比によって異なるが、簡易式としてメルシュ¹⁾の式(1)を用いて割裂力を算出し必要鉄筋量を求めた。

$$T = 0.25 P (1 - B/A) \text{ ----- (1)}$$

ここに T : 割裂力 (KN)

P : プレストレス力 (=573KN)

B : 定着具の一辺の長さ (=110mm)

A : 部材の一辺の長さ (=160mm)

$$T = 0.25 \times 573 \times (1 - 110/160) = 44.8 \text{ K N}$$

割裂力に対して補強鉄筋(D10-SD295A)によって抵抗すると仮定し、次式(2)により必要本数Nを求める。

$$N = T / (A_s \times f_y) \text{ ----- (2)}$$

ここに N : 必要鉄筋本数

T : 割裂力 (=44.8KN)

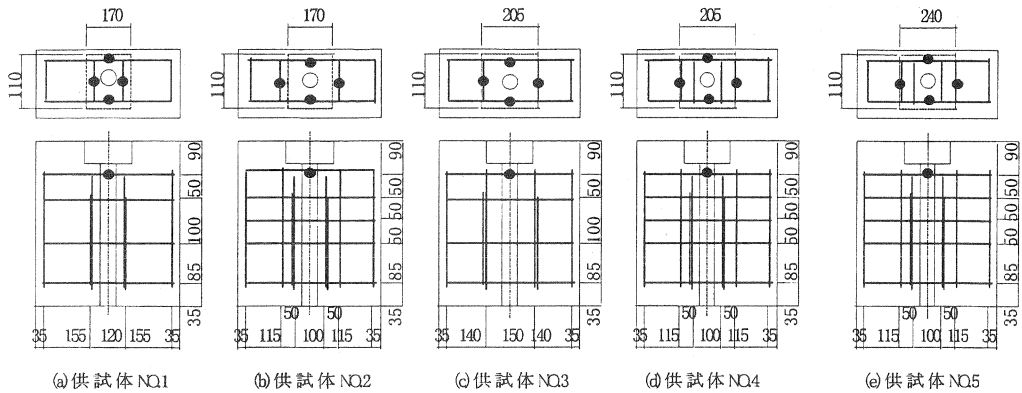
A_s : 鉄筋の断面積 (=0.7133 cm²)

f_y : 鉄筋の降伏点強度 (=295N/mm²)

$$N = 44800 / (71.22 \times 295) = 2.1 \text{ 本}$$

(正方形断面の場合)

正方形断面の場合は、二方向に荷重が分散されるが、長方形断面の場合は一方向で分担するために、補強鉄筋の必要本数を倍とすると $N = 2.1 \times 2 = 4.2$ 本となる。したがって補強鉄筋が耐力に及ぼす影響を確認するため本数は 4本と 6本の 2種類とする。供試体の種類を表-4に、鉄筋配置図を図-2に示す。



注 ●印は鉄筋ゲージ(鉄筋は全てD10)

図-2 鉄筋配置図

2. 4 荷重方法および測定項目

荷重の様子を図-3 および写真-1 に示す。荷重の荷重方法はアンカープレートに円柱ナット (φ65×130) を乗せ 3000KN 圧縮試験機を使用してナットを直接荷重する方法とした。また、偏荷重しないよう圧縮試験機に球形アタッチメントを取付けた。

さらに供試体と載荷台との摩擦の影響を

低減させるため、供試体底面にテフロンシートを設置した。図-3 に示す計測位置において、コンクリート表面のひずみ、 π ゲージによるコンクリート表面のひびわれ幅、および図-2 に示す割製補強鉄筋に貼った鉄筋のひずみを計測した。また、アンカープレートのめり込み量は、図-3 に示す変位計により計測した。測定項目および測定方法は以下の通り

- 1) 各荷重載荷時におけるコンクリート表面のひびわれはクラックスケールにて、コンクリート表面のひびわれ幅を測定。
- 2) 各荷重載荷時におけるコンクリート表面のひずみはコンクリート表面にひずみゲージを貼り付けて測定。
- 3) 各荷重載荷時におけるアンカープレートのめり込み量はアンカープレート上面とコンクリート上面に変位計を取付け、めり込み量を測定。
- 4) ひびわれが発生した段階の荷重および最大荷重を試験機の荷重計から読みとる。

表-4 供試体の種類

NO.	部材寸法(mm)	アンカープレート (mm)	縦横比	補強鉄筋
1	160×500×360	110×40×170	1:1.55	4本-D10
2	160×500×360	110×40×170	1:1.55	6本-D10
3	160×500×360	110×40×205	1:1.86	4本-D10
4	160×500×360	110×40×205	1:1.86	6本-D10
5	160×500×360	110×40×240	1:2.18	6本-D10

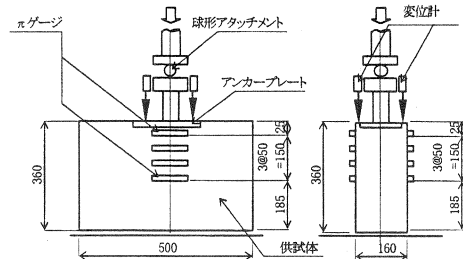


図-3 荷重の様子

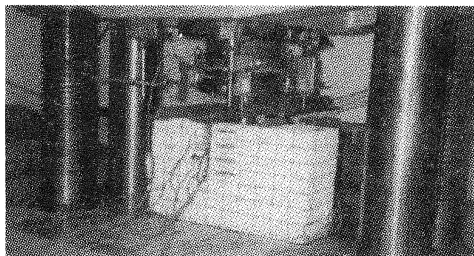


写真-1

表-5 荷重ステップ

ステップ	荷重段階	荷重(KN)
1	0.10 Pu	57.3
2	0.20 Pu	114.6
3	0.30 Pu	171.9
4	0.40 Pu	229.2
5	0.50 Pu	286.5
6	0.60 Pu	343.8
7	0.70 Pu	401.1
8	0.90 Pu	445.5
9	1.00 Pu	573.0

定着部の安全性確認は、土木学会：コンクリート標準示方書・施工編に定める、「定着具および接続具の品質管理および検査」に基づき、緊張材の規格引張荷重の 100% ($P_u = 573.0 \text{ KN}$) 以上に耐えるものを合格と判定した。

2. 5 FEM解析

本検討ではアンカープレート寸法や補強鉄筋量を決定するため、FEM解析を行い、実験結果と比較検討を行なった。解析モデル図を図-4に示す。解析では、コンクリートおよびアンカープレートを3次元ソリッド要素にモデル化し、鋼管内部は忠実に空隙部とした。荷重は円柱ナット ($\phi 65 \times 130$) に等分に載荷した。

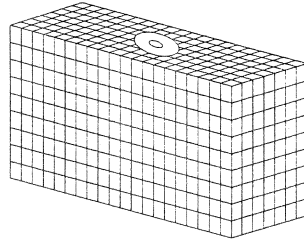


図-4 FEM解析モデル

3. 実験結果および考察

3. 1 終局耐力およびひびわれ特性

(1) 終局耐力および載荷実験終了時のひびわれ状況を図-6に示す。いずれのケースも初期ひびわれは、載荷上面より底面に向かってほぼ鉛直に発生し、長辺側面方向のひびわれ本数が増大し、次に載荷上面の長辺側ではNO.1, 2はひびわれの発生本数も少なく最大荷重に至った。終局耐力を表-6、図-5に示す。図から明らかなように補強鉄筋を6本用いた(30%増相当)供試体NO.2, 4, 5は最終耐力が大きく、ひびわれ本数は増加する傾向にあり補強鉄筋の効果は大きい。

表-6 終局耐力

供試体	最終耐力 (KN)	P/PN	プレート長 (mm)	鉄筋(D10) 本数(本)
No. 1	567	0.990	170	4
No. 2	940	1.640	170	6
No. 3	659	1.150	205	4
No. 4	958	1.672	205	6
No. 5	948	1.679	240	6

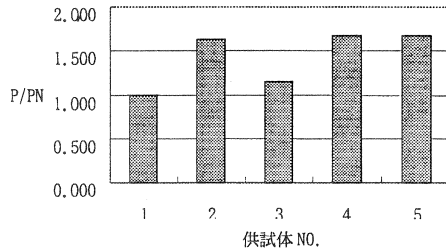
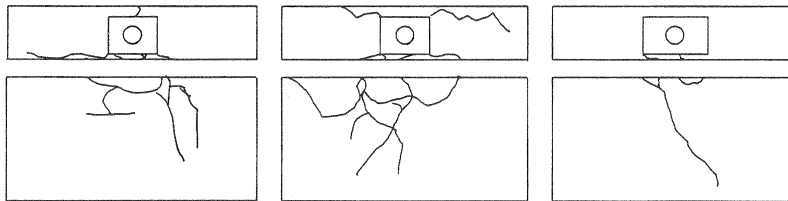


図-5 終局耐力



(a) 供試体 NO. 1

(b) 供試体 NO. 2

(c) 供試体 NO. 3

表-7 ひびわれ発生荷重

供試体	実験値 (KN)	解析値 (KN)	実験値 / 解析値
NO.1	520	510	1.01
NO.2	840	800	1.05
NO.3	590	580	1.02
NO.4	860	800	1.07
NO.5	870	820	1.06

(d) 供試体 NO. 4

(e) 供試体 NO. 5

図-6 ひびわれ状況図

目視およびFEM解析により求めた初期ひびわれ発生荷重を表-7に示す。FEM解析により求めた初期ひびわれ発生荷重の算出にあたっては、FEM解析により算出した主引張応力度が割裂試験によって測定した値(コンクリートの引張強度)に達した時点をひびわれ発生として算出した。この仮定に基づいて算出した解析値は、実験値とほぼ一致している。

(2) ひびわれ幅

各供試体の規格引張荷重時(573KN)のひびわれ幅を表-8に示す。補強鉄筋が比較的多い供試体NO.2, 4, 5は、補強鉄筋の少ない供試体NO.1, 3とほぼ同様のひびわれ幅であるが、さらに加圧するとひびわれ箇所が増大し分散する傾向になる(図-6参照)。アンカープレート寸法の影響については、図-6同一鉄筋量(6本)の供試体NO.2, 4, 5を比較すれば、終局耐力に差は見られないが、プレート長さを大きくすれば荷重点付近の水平方向のひびわれが減少し、縦方向に多くひびわれが分散して発生する傾向にある。目視によるクラック幅は各供試体共0.02mm程度であった。

なお、ひびわれ幅の解析値は局部応力が発生する領域の最上段の水平筋のひずみを用いて式(3)で算出した。

次式は標準示方書²⁾に規定されている曲げ、ひびわれ幅の算出式である。

$$W = K \{4C + 0.7(C_s - \phi)\} (\sigma_{se} / E_s + \epsilon'_{csd}) \text{ ----- (3)}$$

表-8 ひびわれ幅の検討

ここに W : ひびわれ幅 (mm)

K : 鋼材の付着性状の影響を表す定数

C : かぶり (mm)

C_s : 鋼材の中心間隔 (mm)

φ : 鋼材径 (mm)

ε' c_{sd} : コンクリートの収縮およびクリープによるひびわれ幅の増加を考慮するための数値

σ_{se} : 鉄筋応力度の増加量 (N/mm²)

供試体	実験値 W (mm)	式(3)の計算値 W' (mm)	許容値 W _a (mm)
NO. 1	0.07	0.086	0.088
NO. 2	0.04	0.057	0.088
NO. 3	0.05	0.063	0.088
NO. 4	0.03	0.042	0.088
NO. 5	0.05	0.068	0.088

注) 供試体NO.1は最大荷重時とする

実験値のひびわれ幅は、図-3の位置にπゲージを貼付けたが、必ずしもπゲージ位置にひびわれが発生しないため、局部応力が発生する領域で発生した最大の縦ひびわれをクラックゲージにて計測した。なお、許容ひびわれ幅は、標準示方書に規定される鋼材の腐食に対する環境条件のうち、特に激しい腐食性環境に対する許容ひびわれ幅である。表-8は、規格引張荷重時のひびわれ幅を示すが、供試体NO.1は規格引張に到達せず破壊したため、最大荷重567KNでのひびわれ幅を示している。実験値(計測値)は解析値より小さい値となり、式(1)を用いてひびわれ幅の検討を行えば、安全側にひびわれ幅を評価できることが明らかとなった。また許容ひびわれ幅も満足する結果となった。

以上により、ひびわれ本数やひびわれ幅などのひびわれ特性は、補強鉄筋を適正に配置することで、耐久性より定まるひびわれ幅を制御し、分散させることができ、供試体2, 4, 5で配筋した程度で十分であると思われる。アンカープレート長は、大きくすれば若干の耐力向上が認められたが、最大長240mmの供試体NO.5まで大きくしても耐力の増加はなく、標準プレート面積相当分のアンカープレート長(B=170mm)で十分であると思われる。

3.2 破壊性状

表-6より、供試体NO.1以外は規格荷重耐力を有していた。また全ての供試体のアンカープレートめり込みは、規格荷重内では認められなかった。さらに載荷荷重を増し、破壊まで載荷した場合、表-9に示すように供試体NO.4とNO.5については、アンカープレートが凹に変形し、中央部が陥没した。中央部変形は供試体NO.5がNO.4より顕著であった。

表-9 アンカープレートめり込み量(mm)

供試体	左端		中央部		右端	
	上側	下側	上側	下側	上側	下側
NO. 1	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
NO. 2	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
NO. 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NO. 4	0.00	0.02	2.01	2.14	1.06	1.10
NO. 5	0.02	0.03	4.02	4.22	0.01	0.00

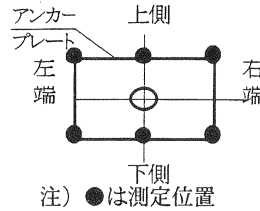


図-7 アンカープレートのめり込み測定位置

また供試体 NO.4 および NO.5 は、かぶりコンクリートの一部が剥離したが、規格荷重耐力以上載荷したあとでも耐力の向上が認められた。これは補強鉄筋のコンクリート拘束効果によると考えられる。

3.3 割裂応力分布

各供試体の割裂応力分布は、補強鉄筋のひずみにより算出すべきであるが、最上段の水平筋のみ鉄筋ひずみゲージを貼り付けなかったため、表面に多段配置した π ゲージにより区間平均ひずみを計測し、コンクリートの初期ヤング係数 E_c を乗じて応力を推定した。図-8 は供試体 NO. 4 の最終耐力時の引張応力分布の例を示す。

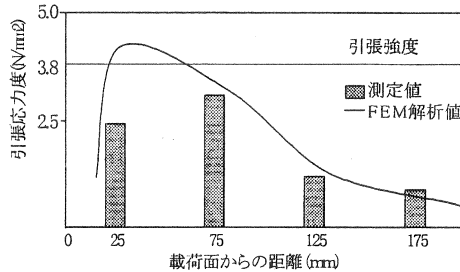


図-8 最終耐力時のコンクリート応力分図

解析値は、引張強度 (3.8N/mm^2) を越えた場合、コンクリートにクラックが入るため、実際上コンクリート耐力は0となるが、補強鉄筋のひずみよりクラックのないコンクリートを想定した値を示した。引張り強度以下では、解析値と測定値はほぼ合致した傾向にあり、載荷面よりアンカープレート幅(110mm)程度の深さで補強鉄筋を配置すれば安全であると思われる。

4. まとめ

本研究は、適切なアンカープレート形状および補強鉄筋を決定する目的でアンカープレート寸法および補強鉄筋量を変化させた試験体6体を製作し載荷試験を行ったものである。実験および解析によって得られた結果は以下のようにまとめられる。

- (1) アンカープレート長は、標準プレート寸法(150mm×150mm)の同等の面積で決定すれば十分である。
- (2) 割裂補強鉄筋は、載荷面よりアンカープレートの幅(110mm)程度の深さで配置すれば、約50%以上ひびわれが抑制され、したがって長方形プレート(110mm×205mm)とすれば所要引張力に対して十分な耐力を有する定着具を提供できる。
- (3) 分割施工される床版厚の薄いプレテンションT桁に対しても、床版横締め鋼材をストランドケーブルとすることが可能となり、広幅員となる橋梁の設計、施工が容易となると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会；コンクリート技術シリーズNO.5，プレストレストコンクリート構造の現況と設計方法の動向 平成6年5月
- 2) 土木学会；コンクリート標準示方書・[設計編]，1966
- 3) 土木学会；SEE工法 設計施工指針 平成3年3月