

(76) 楠高架橋におけるP C a分割版接合実験

日本道路公団 名古屋建設局 名古屋工事事務所 中井 俊雄  
 日本道路公団 名古屋建設局 名古屋工事事務所 木次 克彦  
 川田建設(株) 東京支店工事部 石原 英夫  
 川田建設(株) 開発部 正会員 ○北野 勇一

1. はじめに

楠高架橋は第二名神高速道路の東端起点部に位置し、東海大府高架橋で用いられたプレキャスト床版(以下、P C a床版)を有する鋼少数主桁橋<sup>1)</sup>と同様な形式が採用されている。また、本橋は12径間および5径間連続桁で構成されているが、下り線5径間はランプ接続に伴い幅員が拡幅し、鋼桁も等幅員部の3本から4本に増える。このような場合、P C a床版は輸送面より分割製作(以下、分割版)となり、従来であれば分割版を架設した後、鋼桁上で床版支間方向目地(以下、分割目地)の接合作業を行っていた。

本橋では、鋼桁上での場所打ち接合作業が非常に煩雑であるため、P C a床版の分割目地を地上であらかじめ接合して一括架設する方法を採用することにした。ここでは、分割したP C a床版の耐力面の検討として、分割目地を有する床版が一体化版として機能するかを実験的に確認した。

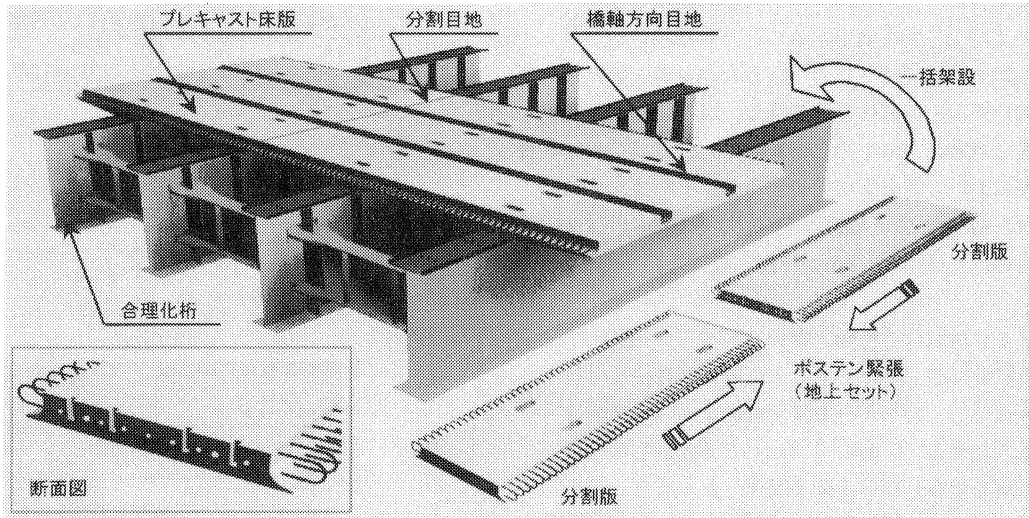


図-1 分割版の施工イメージ

表-1 分割版接合方法の検討

2. 施工性の検討

本橋拡幅部は支間6m・全長20mを超える4主桁連続床版であり、図-1に示すような分割版による施工とした。従来、この分割版の接合方法は鋼桁上で場所打ちコンクリートやプレストレスの導入作業を必要としており、これらの橋上作業は等幅員部の標準版施工に比べ架設サイクルを遅らせる原因になっていた。表-1には橋上作業の合理化を図るための検討内容を示したが、本橋ではプレストレスの導入を地上で行い、一体化したP C a床版として架設することにした。一方、分割

接合方法	接合作業	場所打ち	せん断キー		
	一体化作業	橋上	橋上	地上	
	分割位置	鋼桁部	鋼桁部/ 支間部	鋼桁部/ 支間部	
架設・施工時の特徴	架設クレーン	約150tf	約150tf	約300tf	
	架設作業性	簡便	架設接合に難あり	簡便	
	架設サイクル	標準版より増加	標準版より増加	標準版並	
	地上作業	緊張	無	無	有
		ヤード	不要	不要	必要
橋上作業	コンクリート	有	無	無	
	緊張	有	有	無	
設計特徴	設計2次力	有	有	無	
接合方法の選定		従来法		採用案	

目地はせん断キー方式としており、短時間で接合作業を完了することができる。また、目地部には接着剤を塗布することにより耐久性を確保し、目地位置も曲げ応力変動が最小となる中間床版部に設けることにした。

同工法における課題として、①せん断伝達性能の確保、②目地部の製作精度の確保が挙げられ、これらの検討と確認を行うため、表-2に示す2種類のせん断キーに着目して供試体を作製した。

### 3. 実験概要

実験目的は分割目地の長期的な性能を評価するため、①設計荷重(軸重20tf)時に一体化版としての性能を有する、②想定過積載荷重(軸重60tf)時に十分なせん断耐力を有するかを確認することである。ここで、接着剤については効果の有無の確認を行い、余剰耐力として接着剤なしのケースで上記①、②を満足することとした。

実験方法は図-2に示すようなハンチを設けない等厚断面の供試体に置き換え、支間3.8mの単純版を2線載荷するものとした。また、載荷荷重20tf時において実床版に発生する曲げモーメント(10.1tf-m)およびせん断力を再現するため、供試体の目地は支点から0.8mの位置に設けた。

#### 3-1 供試体の種類と製作

供試体は表-3に示すようにせん断キーを付けた4体とし、台形キーで接着剤の塗布厚を変化させた(無塗布、0.3mm、1.0mm)3体と鋼製キーで接着剤を塗布しない1体を製作した。また、台形キーはボستن鋼材が配置できるように底面幅 $h=16\text{cm}$ 、角度 $\tan\theta=4/3$ 、高さ $H=h/4$ とした突起形状を版全幅につけた。

ここで、T0供試体は目地部の製作方法を検討するための予備供試体であり、T1~T3供試体では以下の留意点を踏まえて製作した。

- ①目地精度：単体製作では精度の確保が難しい→仕切型枠を用いたロングライン製作 (T3供試体)
- ②接着剤の塗布厚：接合時に均一な接着層とならない→十分な塗布厚が必要 (T2供試体)
- ③補強鉄筋の配置：接合時に割裂ひび割れが入る→目地背面への補強鉄筋を追加 (T1~T3供試体)

分割版供試体はプレテンラインで製作し、打設の翌日に緊張力を導入・1週間後に接着剤の塗布およびボستن緊張を行った。この際、ボستن緊張力は分割目地の性能を左右するためロードセルによる張力管理を実施し(T0供試体)、T1~T3供試体では目地近傍の上下縁に入るプレストレス量の確認を行った。その後、屋内養生を2週間行い、載荷実験の材齢は合計3週間であった。

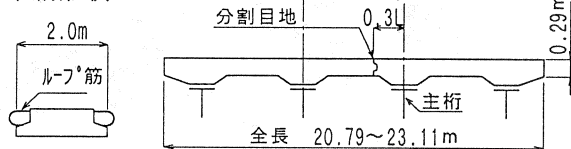
表-2 せん断キーの検討

		鋼製キー	台形キー
せん断キーの形状	接合方式	リング型鋼製接合キー	コンクリート製台形接合キー
	接合箇所	版左右の2カ所	版幅方向一定のキーとする
分割版の製作方法	製作精度	キーの位置精度が必要	マッチキャストに近い精度が必要
	製作方式	仕切型枠を用いたロングライン製作	単体製作
	プレテン鋼材処理	鋼材切断用の箱抜きが必要	標準版と同等
	目地部の配筋	補強鉄筋の配筋が簡便	配筋・かぶりの確保が難しい

表-3 供試体の種類

	せん断キーの種類	接着剤の有無と塗布厚	設計耐力 (tf)	プレストレスと載荷時応力
T0	台形キー	両面塗布 0.3mm	曲げ : 110 せん断 : 132	プレテン導入 22.8 kgf/cm <sup>2</sup>
T1	台形キー	なし	曲げ : 110 せん断 : 99	ボستن導入 45.2 kgf/cm <sup>2</sup>
T2	台形キー	両面塗布 1.0mm	曲げ : 110 せん断 : 132	載荷20tf+自重による下縁発生 応力
T3	鋼製キー	なし	曲げ : 110 せん断 : 108	-31.0 kgf/cm <sup>2</sup>

床版形状



供試体形状

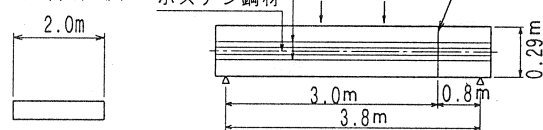


図-2 床版および供試体形状

表-4 使用材料の諸元

材 料	材料特性	設計値	実測値
コンクリート 50-8-20H	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	50以上	60.3
	静弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )	3.3×10 <sup>4</sup>	3.32×10 <sup>4</sup>
	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	3.15以上	4.00
グラウト	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	20以上	43.5
接着剤	可使時間	2時間以上	4時間
	だれ最小厚さ(mm)	0.3以上	0.8
	接着強さ(N/mm <sup>2</sup> )	6.0以上	9.6
プレテン鋼材 1S15.2BL	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	1810以上	1930
	降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	1570以上	1780
ポステン鋼材 1S21.8L	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	1860以上	1910
	降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	1570以上	1720
	摩擦係数λ(1/m)	0.004	0.0028
	セット量s(mm)	6以下	4.3
	降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	345以上	422
鉄筋 SD345	弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )	20×10 <sup>4</sup>	20.4×10 <sup>4</sup>
	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	410以上	-
鋼製キー FCD450	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	410以上	-
	降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	220以上	-

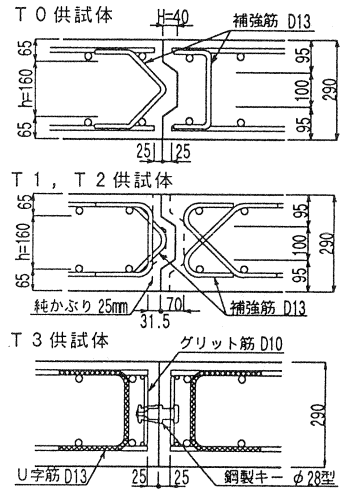


図-3 供試体の詳細目地形状

### 3-2 使用材料

実験に用いた材料は表-4に示した特性を持つものを使用し、接着剤は大断面の塗布作業が簡便となる1液タイプのエポキシ樹脂接着剤<sup>4)</sup>を選定した。また、ポステン鋼材緊張時の摩擦係数およびセット量は設計値内となり、分割目地には所定量の緊張力を導入した。一方、分割版には目地部の不陸があるため弾性変形ロスが過大になると考えられたが、一体化版としての理論値0.8kgf/mm<sup>2</sup>に対し実測値で1.4kgf/mm<sup>2</sup>のプレストレスロス(平均値)であることを確認している。

### 3-3 プレストレス導入量と耐力算定

プレストレス量はプレテンおよびポステン鋼材による比率がおおよそ1:2で、分割目地にはポステン鋼材を緊張して262tf(載荷実験時)導入した。また、実際の分割目地は活荷重作用時において約10kgf/cm<sup>2</sup>の圧縮応力状態となるように設計しており、実験では供試体自重と20tfの荷重を載荷した時点で分割目地の下縁応力がこれと同等(14.2kgf/cm<sup>2</sup>)になるように設定した。

分割目地の設計耐力を表-3に示す。ここで、曲げ耐力は無筋コンクリートにポステン鋼材のみを配置した断面で算定し(目地上縁が先行破壊する)、せん断耐力(Su)は以下のような算出方法とした。

T1 供試体のせん断耐力(台形キー・接着無) :  $S_u = S_1 + S_2$

T2 供試体のせん断耐力(台形キー・接着有) :  $S_u = S_1 + S_3$

T3 供試体のせん断耐力(鋼製キー・接着無) :  $S_u = S_1 + S_4$

$S_1 = \mu \times P_e$  : プレストレスによる効果 ( $P_e$ : 有効プレストレス、鋼材は水平配置)

$S_2 = \tau \times A_2 / \cos \theta$  : 分割目地下あご部分のコンクリート耐力

( $A_2 = 200 \times 9.5 = 1900 \text{ cm}^2$ 、仮定せん断破壊面と分割目地との角度  $\theta = 45^\circ$ )

$S_3 = \tau \times A_3$  : 分割目地全面のコンクリート耐力 ( $A_3 = 200 \times 29 = 5800 \text{ cm}^2$ )

$S_4 = n \times \sigma_{ub} \times B \times (L/3)$  : 鋼製キーの終局時耐力

( $n$ : 鋼製キーの個数=2;  $B$ : 鋼製キーの外径=5.0 cm;  $L$ : 鋼製キーの埋め込み深さ=5.9 cm)

(仮定1) プレストレスによる摩擦係数  $\mu = 0.13$

(仮定2) コンクリートが負担するせん断応力  $\tau = 6.0 \text{ kgf/cm}^2$

(仮定3) 鋼製キー周辺の支圧耐力  $\sigma_{ub} = 2.0 \sigma_{ck}$  (文献2, 3参考)

#### 4. 実験結果

実験結果の一覧を表-5に示す。ここで、せん断キーを用いた分割目地は想定した過積載荷重の1.7倍以上のせん断耐力を有することがわかったが、設計曲げ耐力を有しつつせん断破壊が先行しないのはT2およびT3供試体であった。なお、供試体たわみ量などの理論値は表-4中の値を用い、PC鋼材およびコンクリートをファイバーモデルに置き換え一体化版であるとして算出した。

表-5 実験結果の一覧

供試体名	T0 (台形、接着有)	T1 (台形、接着無)	T2 (台形、接着有)	T3 (鋼製、接着無)
載荷最大荷重と破壊形態	目地上縁の曲げ圧縮破壊 (99tf)	目地下あご部のせん断破壊 (110tf)	目地部の破壊なし (110tfで健全)	目地上縁の曲げ圧縮破壊 (112tf)
評価項目A	○	○	◎	◎
たわみ性状と理論値との比率(20tf時)	非線形的なたわみ大 +35%	線形性有 +15%	線形性有 +7%	線形性有 +15%
評価項目B	×	○	○	○
目地開き	20tf 0.050mm	0.010mm	0.005mm	0.010mm
性状	20→0tf 残留開き有	残留開き無	残留開き無	残留開き無
評価項目C	×	○	○	○
ひび割れ状況	発生：43tf 下面で斜めに広がる。 突起部に割裂。	発生：52tf 下面は床版支間と直角に入る。 突起部に割裂。	発生：44tf 下面は床版支間と直角に入る。 突起部は曲げせん断ひび割れ。	発生：38tf 下面は当初斜めで50tf以降は直角に入る。 目地上部に割裂。
評価基準：本実験の目的は下記の項目A～Cの評価：○を満たすことであり、この性能を満たさない場合は評価：×とした。 (項目A) 目地部の過積載荷重までせん断耐力を有する。(評価：○) 設計曲げ耐力を有し、せん断破壊が先行しない。(評価：◎) (項目B) 設計荷重時までたわみが線形挙動を示す。(評価：○) 曲げひび割れ発生までたわみが線形挙動を示し、理論たわみに一致する。(評価：◎) (項目C) 設計荷重状態で除荷したときに目地開きが戻る。(評価：○) 設計荷重状態では目地は開かない。(評価：◎)				

#### 4-1 一体化版の変形挙動

分割目地にプレストレスを導入したPCa床版は支間方向に一体化した版として挙動するように設計しており、一体化版のたわみは設計荷重時まで線形挙動を示さなければならない。ここで実験より得られた結果として、図-4に荷重とたわみの関係、図-5に床版のたわみ分布、図-6に分割目地の平均開き幅を示す。これより無接着のT1、T3供試体は、①線形的なたわみ挙動を示す、②理論値に近いたわみ分布である、③除荷時に目地開きが戻ることがわかり、フルプレストレス状態下であれば一体化版の挙動を示すと言える。

一方、接着剤を厚めに塗布したT2供試体は無接着よりも上記①～③の傾向が良好であったが、薄目に塗布したT0供試体では①非線形的で過大なたわみ挙動を示す、②分割目地にたわみの段差がある、③除荷時に目地開きが戻らないことがわかった。これより、T0供試体は一体化版としての挙動を示してなく、目地でヒンジ回転を起こしていると言える。この原因として、製作精度による不陸と接着剤の塗りムラによるプレストレスの偏りがあると考えられる。

また、想定過積載荷重の60tf載荷時はT0供試体を除けば一体化版としての理論たわみと同様な性状を示しており、空目地の場合でもせん断キーを介してせん断伝達が十分なされていると言える。

#### 4-2 一体化版のひび割れ性状

ひび割れ性状を図-7に示したが、T0供試体は接着剤を塗布したにも関わらず、供試体下面の目地部より割裂ひび割れが進展しており、その傾向は版中央よりA面側まで見られた。これより、版の半分が載荷とともにヒンジ回転を起こし、供試体下面のひび割れも傾斜したと言える。また、T3供試体において曲げひび割れ発生時に傾斜ひび割れの傾向が見られたが、その後、版直角方向に変化していった。この場合、遊びのあった鋼製キーのズレが影響していると思われるが、せん断キーによってせん断力が伝達されるとともに傾斜ひび割れが修正されていったと考えられる。

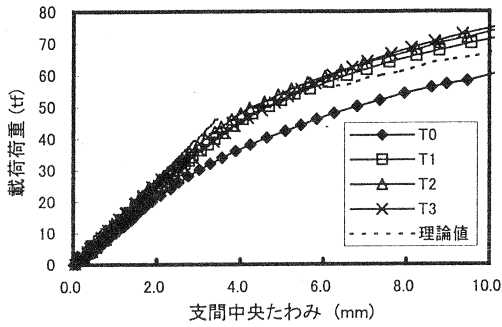


図-4 荷重とたわみの関係

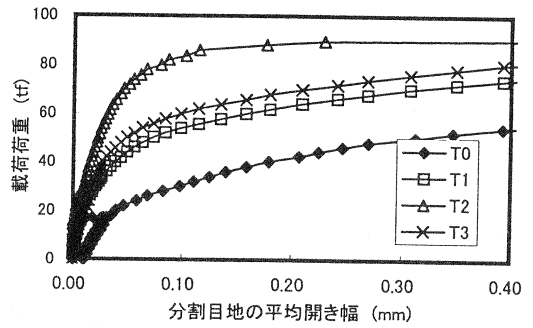


図-6 分割目地の平均開き幅

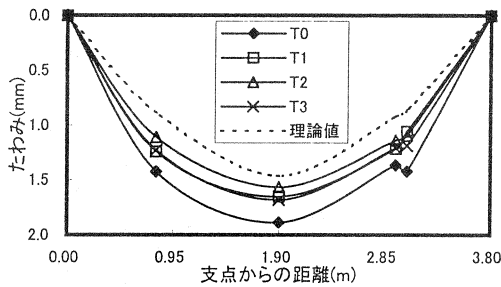
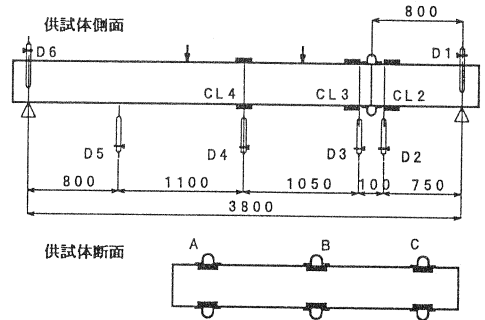
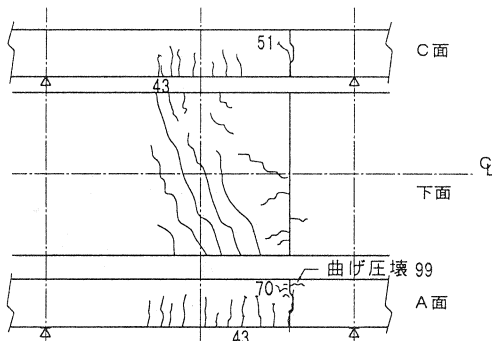


図-5 床版のたわみ分布

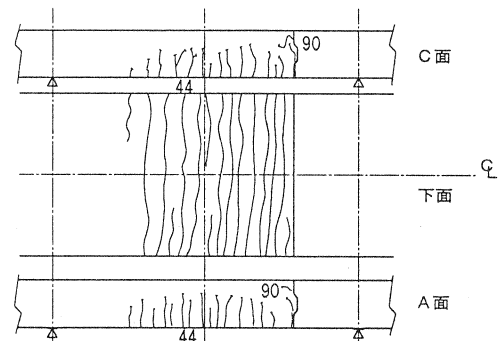


T0 台形キー接着有

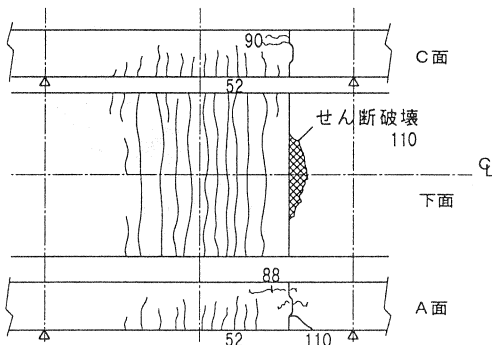


T2 台形キー接着有

(単位: tf)



T1 台形キー接着無



T3 鋼製キー接着無

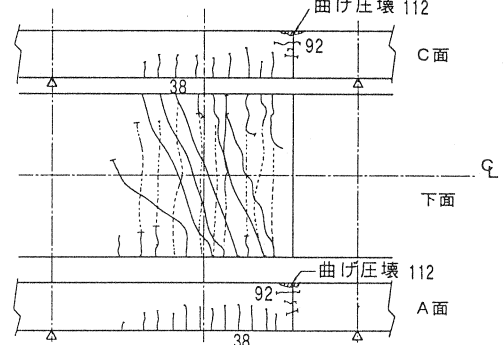


図-7 ひび割れおよび破壊性状

一方、供試体の目地部側面に入るひび割れは、大別して2通りに分けられる。まず、無接着のT1, T3供試体では分割目地が開きやすいため目地付近では曲げひび割れが入らないが、載荷荷重が90tfまで達した段階で版上縁側に割裂ひび割れが入った。また、接着剤を厚めに塗布したT2供試体では、分割目地よりわずかに離れた位置に曲げひび割れが入り、その後、曲げせん断ひび割れへと進展していった。これより、接着剤の塗布を確実に行えば、曲げひび割れ発生後も分割目地の一体性は確保されると言える。

#### 4-3 分割版のプレストレス分布について

測定を行ったT1~T3供試体についてボステン鋼材緊張直後の版下縁応力を図-8に示す。ここで、無筋コンクリート断面には設計上軸圧縮応力が一様に45.2kgf/cm<sup>2</sup>導入されるが、台形キー供試体(T1, T2)では導入応力が大幅に偏った。ただし、接着剤を塗布したT2供試体の方がプレストレスの偏りが少なく、接着剤は不陸調整に寄与することがわかった。また、鋼製キー供試体(T3)では分割目地および支間中央断面まで一様なプレストレスが導入されており、仕切型枠を用いたロングライン方式による製作が必要であると考えられる。

#### 5. まとめ

せん断キーを用いた分割版の接合に関し、得られた知見を以下に示す。

- ①無接着の接合であっても、フルプレストレス状態下であれば一体化版の挙動を示す。
- ②想定過積載荷重載荷時に対し十分なせん断耐力を有する。
- ③接着剤の塗布を確実に行えば、曲げひび割れ発生後も分割目地の一体性は確保される。
- ④鋼製キーを用いた分割版の接合であれば、一様なプレストレスが導入される。

以上より、分割目地の接合方式としては鋼製キーを用い、仕切型枠を用いたロングライン方式による製作を採用することにした。

#### 参考文献

- 1) 水口, 村山, 北山, 山下: 東海大府高架橋におけるプレキャストP C床版の設計と施工; プレストレストコンクリート, Mar, 1998
- 2) 松田, 紫桃, 馬場, 湯川: 重信高架橋(外ケーブル併用プレキャストセグメントラーメン箱桁橋)の計画と設計(下); 橋梁と基礎, Feb. 1997
- 3) 建設省土木研究所: プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリート道路橋設計・施工指針(案); 共同研究報告書第130号, Dec. 1995
- 4) 池田, 武田, 小谷, 辻: 1液エポキシ樹脂接着剤を用いたコンクリートの接着強度; コンクリート工学年次論文報告集, Vol20, No.2, 1998

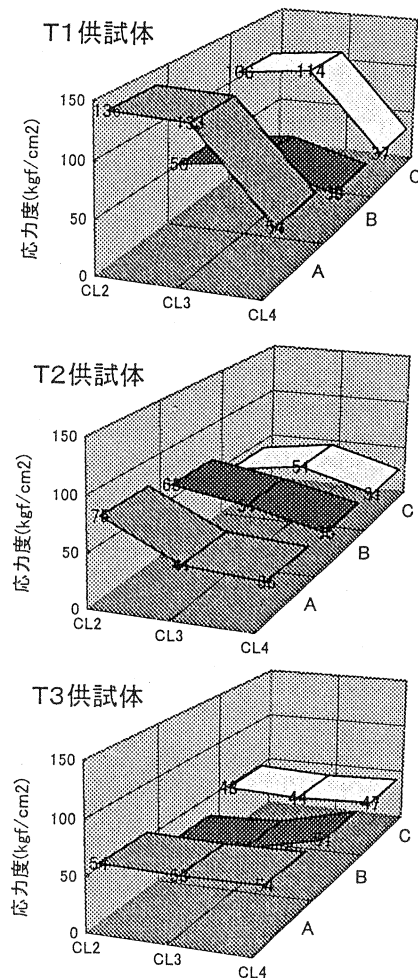


図-8 版下縁のプレストレス導入量