

(6) プレキャストブロック継目部の設計法に関する研究

建設省 土木研究所 西川 和廣
 同 上 神田 昌幸
 同 上 内田 賢一
 (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 清水 俊一

1. はじめに

プレキャストブロック工法は比較的古くから行われてきた工法ではあるが、急速施工を必要とする工事や、急峻な地形下での工事に用いられる特殊な工法として位置づけられてきた。しかし、近年の建設業界における慢性的な労働力不足や天然資源の有効活用の要望等を背景に、省力化・省人化に対応し、型わく転用等の施工合理化が図れることからプレキャストブロック工法が注目され、施工実績も増加している。このように、時代の要請に合致したプレキャストブロック工法ではあるが、本工法を道路橋に適用する場合、継目部の力の伝達機構等に不明確な点が残されており、設計・施工に関する基準類も十分に整備されていない現状にあった。

そこで、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の合理的な設計法を整備する目的で、建設省土木研究所と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会とで平成3年度より3年間にわたり共同研究を実施した。共同研究では、鋼製接合キーまたはコンクリート製接合キーを配置した継目部をモデル化した供試体に、静的載荷によってせん断力またはねじりモーメントを作用させて継目部の力の伝達機構を明らかにした^{1)~3)}。これらの成果は、図-1に示すように各種基準に反映され、設計・施工に関する基準も徐々に整備が進められている。

ここでは、現時点での各基準および施工事例を参考に、設計・施工法について包括的にとりまとめた「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)」⁴⁾に規定された主要項目の背景について、共同研究の実験結果を交えながら説明する。

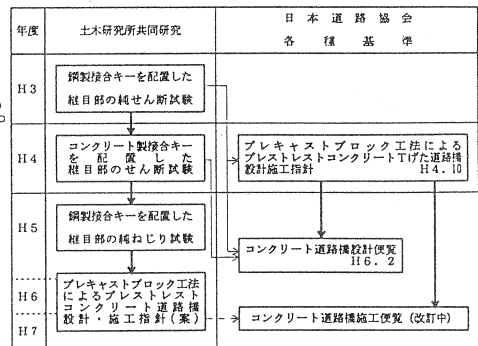


図-1 研究成果の基準類への反映

2. 実験概要

共同研究では、Tげた橋を対象とした鋼製接合キーを配置した継目部の純せん断実験および純ねじり実験、箱げた橋を対象としたコンクリート製接合キーを配置した継目部のせん断実験を行った。各供試体は、継目部の接着状態、接合キーの種類および配置位置、プレストレスの導入量、鉄筋量等を変化させた。表-1~表-3に各実験に使用した供試体の諸元を、図-2~図-5に代表的な供試体および接合キーの形状寸法を示す。

コンクリートには早強ポルトランドセメント、接着剤には実施工で一般的に使用されるエポキシ

表-1 純せん断実験供試体の諸元一覧

番号	供試体名	モデル種別	プレストレス (kgf/cm ²)	鋼製接合キーの有無及び径 (径(mm))	接着剤の状態	備考
1	W-60-32-H		60	有り(32)	完全接着	標準供試体; プレストレス導入量を変化させて挙動を調べる。
2	W-30-32-H	ウェブ部	30	有り(32)	完全接着	
3	W-0-32-H		0	無し	未硬化	接着剤が硬化する前の挙動を調べる。
4	W-60-32-W		60	有り(32)	未硬化	接着剤未硬化供試体; 接着剤が硬化する前の挙動を調べる。
5	W-30-32-W	ウェブ部	30	有り(32)	未硬化	
6	W-0-32-W		0	無し	未硬化	
7	W-60-50-H	ウェブ部	60	有り(50)	完全接着	φ50供試体; 接合キーの径を変化させて標準供試体と比較。
8	W-0-50-H		0	無し	完全接着	φ28供試体; 接合キーの径を変化させて標準供試体と比較。
9	W-60-28-H	ウェブ部	60	有り(28)	完全接着	φ28供試体; 接合キーの径を変化させて標準供試体と比較。
10	W-0-28-H		0	無し	完全接着	接合キー無し供試体; 接合キーを配置しないで標準供試体と比較。
11	W-60-0-H	ウェブ部	60	無し	完全接着	継目部ひびわれφ32供試体; 接合面を分離させて標準供試体と比較。
12	W-30-0-H		30	無し	完全接着	継目部ひびわれ接合率一無し供試体; 接合面を分離させて標準供試体と比較。
13	W-60-32-S	ウェブ部	60	有り(32)	ひびわれ	継目部ひびわれφ32供試体; 接合面を分離させて標準供試体と比較。
14	W-30-32-S		30	有り(32)	ひびわれ	継目部ひびわれφ32供試体; 接合面を分離させて標準供試体と比較。
15	W-60-0-S		60	無し	ひびわれ	継目部ひびわれφ32供試体; 接合面を分離させて標準供試体と比較。
16	W-30-0-S		30	無し	ひびわれ	継目部ひびわれφ32供試体; 接合面を分離させて標準供試体と比較。
17	F-60-32-H	フランジ部	60	有り(32)	完全接着	フランジ供試体; フランジ断面を想定して標準供試体と比較。
18	F-30-32-H		30	有り(32)	完全接着	
19	F-0-32-H		0	無し	完全接着	

*: 供試体名の記号は以下を表す。

W-60-32-H

接着剤の状態 (H: 完全接着, W: 未硬化, S: ひびわれ)
 鋼製接合キーの有無及び径 (32: 32mm, 50: 50mm, 28: 28mm, 0: 無し)
 プレストレス (60: 60kgf/cm², 30: 30kgf/cm², 0: 0kgf/cm²)
 モデル種別 (W: ウェブ部モデル供試体, F: フランジ部モデル供試体)

* 接着剤の状態における「完全接着」は健全な状態、「未硬化」は架設時を想定した状態、「ひびわれ」は継目部にひびわれが発生した状態または接着剤の劣化によって接着力が失われた状態を想定したものである。「未硬化」と「ひびわれ」をあわせて不完全接着供試体と呼ぶ。

表-2 純ねじり実験供試体の諸元一覧

番号	供試体名	接合状態	接合キー 径(mm)	プレストレス (kgf/cm ²)	鉄筋	備考
1	WC-N-0-13	一体構造・軸方向鉄筋連続	無し	0	D13	継目部の影響およびプレ ストレスの効果の把握
2	WC-N-30-13					
3	WC-N-60-13					
4	BP-N-0-13	ブロック構造・完全接着	無し	0	D13	軸方向鉄筋の効果の把握 プレストレスおよび接合 キーの効果の把握
5	BP-N-30-13					
6	BP-N-60-13					
7	BP-K-0-13	ブロック構造・完全接着	φ28	300	D13	標準供試体 プレストレスの効果の把握
8	BP-K-30-13					
9	BP-K-60-13					
10	BP-S-0-16	ブロック構造・完全接着	φ28	200	D16	接合キーの配置位置によ る影響および継目部の依 存形態の把握
11	BP-S-30-16					
12	BP-S-60-16					
13	BP-K-E-13	ブロック構造・完全接着	φ28	300	偏心分布	D13 プレストレス偏心の影響
14	BS-K-0-13	ブロック構造・劣化想定	φ28	300	D13	接着剤の効果の把握
15	BS-K-30-13					
16	BS-K-60-13					

*: 供試体名の記号は以下を表す。

BP-K-60-13

- 軸方向鉄筋およびスターラップの径(D13: D13, 16: D16)
- プレストレス(0: 0kgf/cm², 30: 30kgf/cm², 60: 60kgf/cm², E: 上層10kgf/cm², 下層50kgf/cm²)
- 接合キーの有無および配置位置(N: 無し, K: φ28・F=300mm, S: φ28・F=1200mm)
- 接合状態(WC: 一体構造・軸方向鉄筋連続, BP: 一体構造・軸方向鉄筋不連続)
- 接合状態(BS: ブロック構造・完全接着, BS: ブロック構造・劣化想定)

* 接合状態における「完全接着」は健全な状態、「劣化想定」は接着剤の劣化により接着力が失われた場合を想定したものである。

表-3 せん断実験供試体の諸元一覧

種別	番号	供試体名	キー形状	キー角度	キー寸法	補強鉄筋 A _c	フック (kgf/cm ²)	接着剤 の状態	備考
大型 供試体	1	B C45T-20-II	台形	45°	10 30/10	0.12-D19 (2D2-D13)	20	完全接着	後述断面(1)、(2)で補強 鉄筋量を変化させる。
	2	S C45N-40-II	台形	45°	10 30/10	2-D19	40	完全接着	台形標準供試体: プレストレス導入量 を変化させる。
	3	S C45N-20-II					20	完全接着	台形標準供試体: プレストレス導入量 を変化させる。
	4	S C45N-20-W					0	未硬化	接着剤未硬化供試体: 補強鉄筋多供試体 補強鉄筋単供試体
	5	S C45L-40-II					4-D19	完全接着	キー角度60° 供試体
	6	S C45L-40-II					40	完全接着	キー無し供試体
	7	S C50N-40-II					2-D19	完全接着	多段標準供試体: プレストレス導入量 を変化させる。
8	S-N-40-II	無し					-	-	40
小型 供試体	9	S-W3-40-II	多段	45°	3- 9/3	20	完全接着	接着剤未硬化供試体: キー無し供試体	
	10	S-W3-20-II				20	完全接着	接着剤未硬化供試体: キー無し供試体	
	11	S-W3-0-II				0	未硬化	接着剤未硬化供試体: キー無し供試体	
	12	S-W3-20-W				20	完全接着	接着剤未硬化供試体: キー無し供試体	
	13	S-W5-40-II				5-15/5	完全接着	接着剤未硬化供試体: キー無し供試体	
	14	S-W5-40-II				5-15	完全接着	接着剤未硬化供試体: キー無し供試体	
	15	S-W40-II				液形	-	-	40

*: 供試体名の記号は以下を表す。

B-C45T-20-II

- 接着剤の状態(II: 完全接着, W: 未硬化)
- プレストレス(40: 40kgf/cm², 20: 20kgf/cm², 0: 0kgf/cm²)
- キーの形状(C45T: 台形45° 補強2タイプ, C45N: 台形45° 補強標準, C45L: 台形45° 補強多, C45: 台形45° 補強無し, C50N: 台形60° 補強標準, N: 無し, W3: 多段キー高さ3cm)
- W5: 多段キー高さ5cm, W液形: 液形
- 種別(B: 大型供試体, S: 小型供試体)

*: キー寸法の記号は以下を表す。

10-30/10

- キーの短辺の長さ(cm)
- キーの長辺の長さまたは液形キーの周期(cm)
- キーの高さ(cm)

* 接着剤の状態において「完全接着」は健全な状態、「未硬化」は架設時を想定したものである。

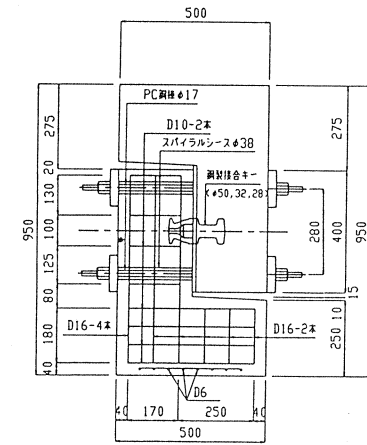


図-2 純せん断実験供試体形状寸法例

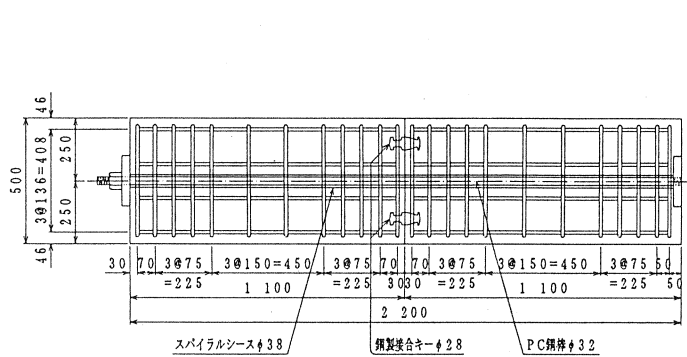


図-3 純ねじり実験供試体形状寸法例

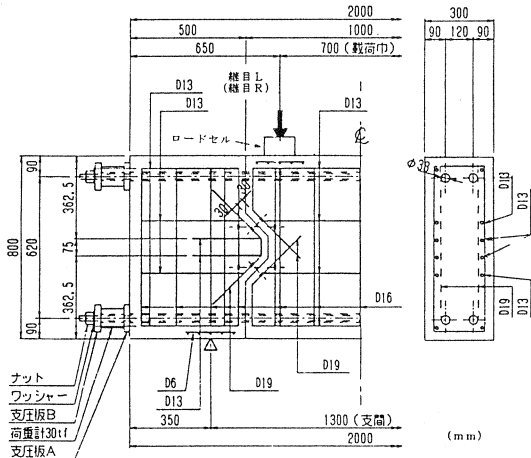
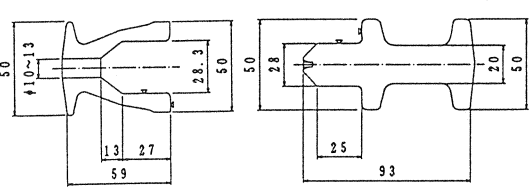
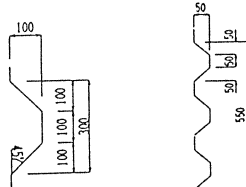


図-4 せん断実験供試体形状寸法例



(a) リング型鋼製接合キー



(b) 台形接合キー (c) 多段接合キー

樹脂系接着剤を用いた。また、鋼製接合キーには現在一般的に使用されている、材質がFCD450のリング型鋼製接合キー、鉄筋はSD295、プレストレス導入にはP C鋼棒を使用した。

3. 設計・施工指針(案)の規定と根拠

プレキャストブロック継目部のずれ発生に対し、プレストレスが有効に作用することは一般に理解されていた。しかし、これを定量的に規定した基準はなく、プレストレスの効果は継目部の設計に考慮されていなかった。また、その構造上軸方向鉄筋を配置することが困難なブロック継目部のねじりに対する設計法の確立や、コンクリート製接合キーに対し、現在主流である台形接合キーの他に、今後増加が予想される波形接合キーおよび多段接合キーの設計法を整備する必要がある。

これらの設計上の課題に対し、共同研究における実験結果に基づく新たな設計法が提案され、順次基準類^{9), 6)}に反映されている。これらに加え、新たにねじりに対する設計法を提案するとともに、共同研究の最終成果として包括的な設計・施工指針(案)を目標に「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)」をとりまとめた。以下に指針(案)の規定とその根拠について述べる。なお、本指針(案)は、接合材料にエポキシ樹脂系接着剤を用い、接合キーに鋼製接合キーまたはコンクリート製接合キーを用いて、プレキャストブロック工法により施工するプレストレストコンクリート道路橋の設計・施工に適用するものである。

3.1 コンクリート強度

道路橋示方書・解説(以下、道示)I共通編3.2.2の規定によれば、ポストテンション方式のプレストレストコンクリート部材としての設計基準強度は、原則として300 kgf/cm²以上としている。しかし、プレキャストブロック工法に用いる主げたのコンクリートは、接合キー周辺の局所的な応力や、プレストレス導入前の移動、取り扱い上の安全性等を考慮して、原則として400kgf/cm²以上と規定した。

3.2 プレストレスの効果

図-6～図-8に導入プレストレスと継目部の応力度の関係を示す。プレストレスによって継目部の耐力がほぼ直線的に向上する傾向が認められる。図中において、1次関数で近似した場合の切片は継目部自体の耐力を示し、直線の傾きはプレストレスによる継目部耐力の増加割合(プレストレスによる摩擦係数)を示す。これより、プレストレスは継目部のずれ発生の抑制に対して有効に作用しており、その摩擦係数はほぼ1.0程度であることが理解された。

この結果から、終局荷重作用時の接合キーの設計において、接合キー1箇所あたりに作用するせん断力またはねじりモーメントを算出する際にプレストレス力の摩擦によるせん断抵抗係数を0.3とし、接合キー1箇所あたりに作用するせん断力およびねじりモーメントは以下の式で算出してよいものとした。ただし、せん

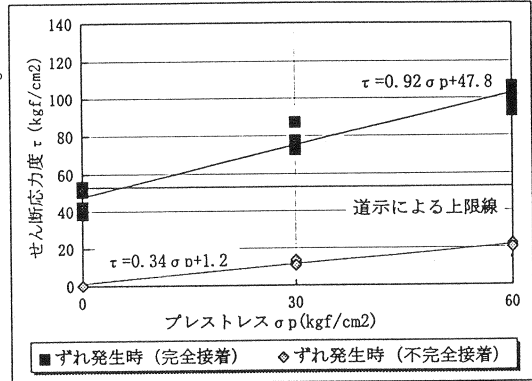


図-6 プレストレスと荷重によるせん断応力度

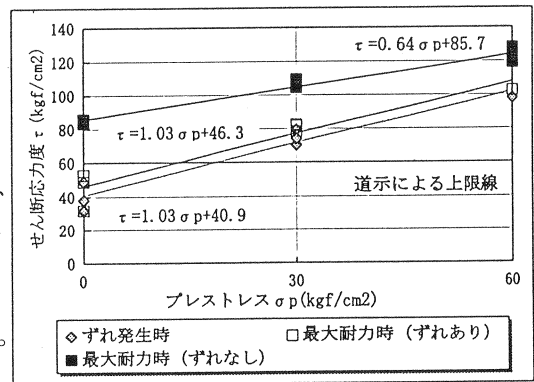


図-7 プレストレスとねじりによるせん断応力度

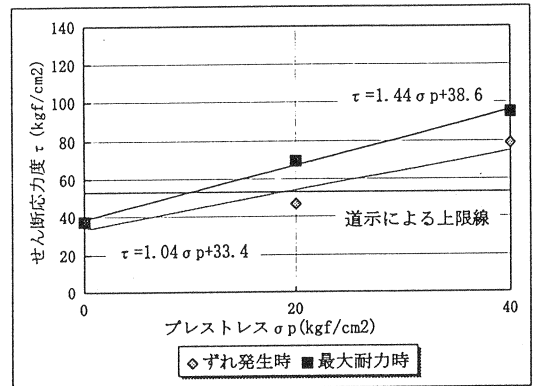


図-8 プレストレスと荷重によるせん断応力度

断力とねじりモーメントが同時に作用する場合は、プレストレスによって緩和される接合キーに作用するねじりモーメントには係数 α (通常は0.5)を乗じるものとした。

せん断力

$$S = S_k - S_{pfi} \dots \dots (1)$$

ここに、 S : 接合キー1箇所あたりのせん断力(kgf)

S_k : 終局荷重作用時の接合キー1箇所あたりのせん断力(kgf)

S_{pfi} : 接合キー1箇所あたりのプレストレス力の摩擦によるせん断抵抗力(kgf)

$$S_{pfi} = 0.3 \cdot P_o \cdot \cos \theta / N \dots \dots (2)$$

$P_o \cdot \cos \theta$: 全P C鋼材の引張力の軸方向成分(kgf)

N : 同一形状の接合キーの個数

ねじりモーメント

$$M_{tu} = M_{tu0} - \alpha \cdot M_{tp} \dots \dots (3)$$

ここに、 M_{tu} : 終局荷重作用時の継目部のねじりモーメント(kgf・cm)

M_{tu0} : 終局荷重作用時の荷重による継目部のねじりモーメント(kgf・cm)

α : ねじりモーメントとせん断力が同時に作用した場合の低減係数。

荷重の作用条件などで最大1.0となる。通常は0.5としてよい。

箱げた橋の場合

$$M_{tp} = 0.3 \cdot \sigma_{cp} \cdot K_t(\min) \dots \dots (4)$$

ここに、 σ_{cp} : 断面に導入されている平均プレストレス(kgf/cm²)

$K_t(\min)$: ($= 2 A_m \cdot t(\min)$)

A_m : 道示Ⅲ表-2.4.1参照

$t(\min)$: 箱形断面で最も薄い部材厚さ(cm)

Tげた橋の場合

$$M_{tp} = 0.3 \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{\sum h_i \cdot b_i^3}{3.5 \cdot b(\min)} \dots \dots (5)$$

ここに、 $\sum h_i \cdot b_i^3$: 道示Ⅲ表-2.4.1参照

$b(\min)$: T形断面の中の分割長方形で最も薄い部材の幅(cm)

3.3 支圧応力度

鋼製接合キーを配置した継目部の純せん断試験では、鋼製接合キー近傍のコンクリートに応力集中が生じ、コンクリートの圧壊によって破壊に至ったことから、接合キー周辺のコンクリートに作用する支圧応力度についての安全性を検討するものとした。鋼製接合キー近傍のコンクリートに作用する支圧応力度の分布を図-9に示すようにモデル化するとコンクリートの支圧応力度は以下の式で求められる。

$$f_b = \frac{V_n'}{B \cdot (L_e / 3)} \dots \dots (6)$$

ここに、 f_b : コンクリートの支圧応力度(kgf/cm²)

V_n' : 作用せん断力(kgf)

B : 換算支圧幅(cm)

L_e : 接合キーの埋込み長さ(cm)

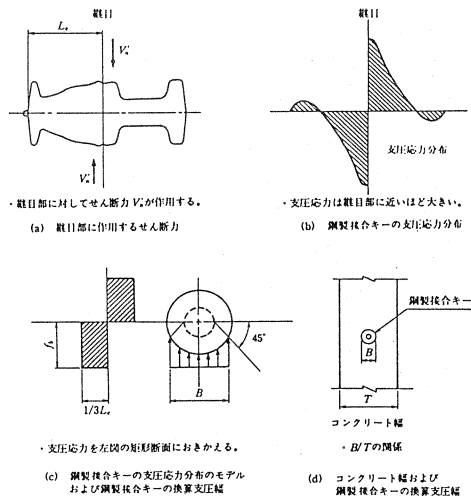


図-9 支圧応力の分布モデル

式(6)より算出したコンクリートの支圧応力度 f_b をコンクリートの圧縮強度 f_{ck} で除した値と、鋼製接合キーの換算支圧幅 B をコンクリートの抵抗幅 T で除した値の関係を図-10に示す。共同研究における実験では、コンクリートの支圧応力度の限界値は、コンクリート強度の2.5~7.1倍程度であり、 B/T が小さいほど大きくなる傾向がみられた。

これより、接合キー周辺のコンクリートに作用する支圧応力度は、架設時および終局荷重作用時に次式を満足するものとした。

架設時

$$\sigma_{tb} = \frac{S_{\tau}}{B \cdot (L/3)} \leq 1.5 \sigma_c \dots (7)$$

終局荷重作用時

$$\sigma_{ub} = \frac{S_k - S_{pf}}{B \cdot (L/3)} \leq 2.0 \sigma_{ck} \dots (8)$$

ここに、 σ_{tb} : 架設時にコンクリートに作用する支圧応力度(kgf/cm²)

S_{τ} : 架設時の接合キー1箇所あたりのせん断力(kgf)

B : 接合キーの外径(cm)

L : 接合キーの埋込み長さ(cm)

σ_c : 架設時のコンクリート圧縮強度(kgf/cm²)

σ_{ub} : 終局荷重作用時にコンクリートに作用する支圧応力度(kgf/cm²)

S_k : 終局荷重作用時の接合キー1箇所あたりのせん断力(kgf)

S_{pf} : 接合キー1箇所あたりのプレストレス力の摩擦によるせん断抵抗力(kgf)

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度(kgf/cm²)

3.4 台形接合キーの補強鉄筋

図-11に台形接合キーに配置する補強鉄筋量を変化させた場合の補強鉄筋量とせん断耐力の関係を示す。図より、補強鉄筋量が増減してもせん断耐力にほとんど影響を及ぼさないことがわかる。したがって、台形接合キーに配置する補強鉄筋量は道示Ⅲによる算定式と同様とし、架設時と終局荷重作用時について検討して多い方を配置

するものとした。この指針(案)の規定を用いると、補強鉄筋量の算出時に終局荷重作用時のせん断力が支配的になる場合は、プレストレス力の摩擦によるせん断抵抗力分だけ鉄筋量が低減されることになる。

3.5 波形接合キーおよび多段接合キー

図-12および図-13に波形接合キーおよび多段接合キーの標準的な形状を示す。この形式の接合キーは、凹凸部に補強鉄筋を配置することは困難であることから、接合キー面に作用するせん断応力度を規定するものとした。コンクリート製接合キー

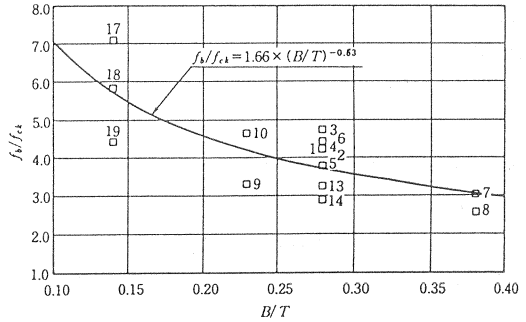


図-10 コンクリート強度・支圧応力度比と B/T の関係

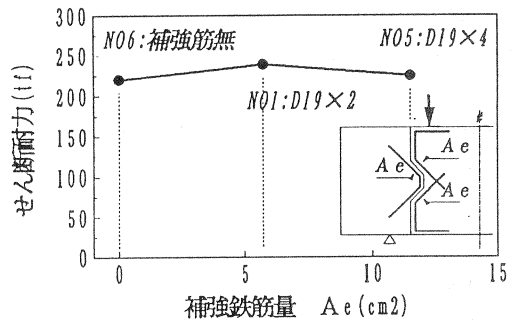


図-11 補強鉄筋量とせん断耐力の関係

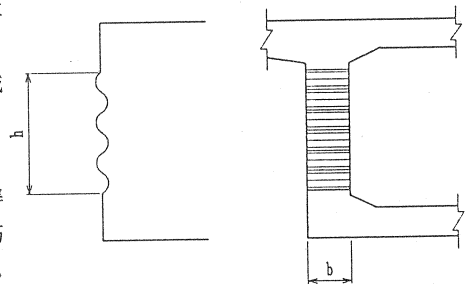


図-12 波形接合キーの構造例

を配置した継目部のせん断試験において、架設時をモデル化した供試体の接合キーのひび割れ発生がせん断応力度に換算して57kgf/cm²であったことより、安全率を考慮して15kgf/cm²程度以下とするのが望ましいとした。

図-14に多段接合キーのプレストレスと荷重によるせん断応力度の関係を示す。終局荷重作用時の切片が38.6kgf/cm²であることから、終局荷重作用時の継目部のせん断応力度は20kgf/cm²程度以下が望ましいとした。

このときのせん断応力度は、接合キー部のみがせん断力に抵抗するものとして次式で求めるものとした。なお、接合キー1箇所あたりに作用するせん断力算出には、台形接合キーと同様にプレストレス力の摩擦によるせん断抵抗係数0.3を考慮してよいものとした。

$$\tau = \frac{S}{b \cdot h} \dots \dots (9)$$

ここに、 τ ：接合キー面のせん断応力度(kgf/cm²)

S：接合キー1箇所あたりに作用するせん断力(kgf)

b：接合キー幅(図-12、図-13参照)(cm)

h：接合キー高さ(図-12、図-13参照)(cm)

4. おわりに

プレキャストブロック工法は、国内外で年々施工実績が増加しており、将来的にもプレストレストコンクリートの特性を活かした技術としてきわめて有効であると思われる。今回、せん断力およびねじりモーメントに関する設計法を含む包括的な設計・施工指針(案)が作成され、その成果が種々の基準類に反映され始めており、共同研究の大きな目的であったプレキャストブロック工法の基準の整備に関し、確かな潮流を築くことができたと確信している。

本研究の成果が広く設計および施工の分野で役立てられ、プレキャストブロック工法の発展の一助となれば幸甚である。

参考文献

- 1) 藤原、西川、箕作ほか：プレキャストブロック橋の設計法に関する共同研究報告書(Ⅰ)、建設省土木研究所共同研究報告書第69号、平成4年3月。
- 2) 藤原、西川、神田ほか：プレキャストブロック橋の設計法に関する共同研究報告書(Ⅱ)、建設省土木研究所共同研究報告書第82号、平成5年3月。
- 3) 藤原、西川、神田ほか：プレキャストブロック橋の設計法に関する共同研究報告書(Ⅲ)、建設省土木研究所共同研究報告書第98号、平成6年3月。
- 4) 横山、西川、神田ほか：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)、建設省土木研究所共同研究報告書第130号、平成7年7月。
- 5) 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Tげた道路橋設計施工指針、(社)日本道路協会、平成4年10月。
- 6) コンクリート道路橋設計便覧、(社)日本道路協会、平成6年2月。

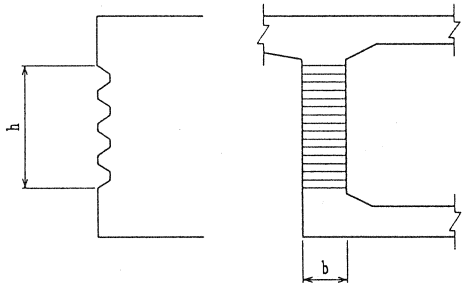


図-13 多段接合キーの構造例

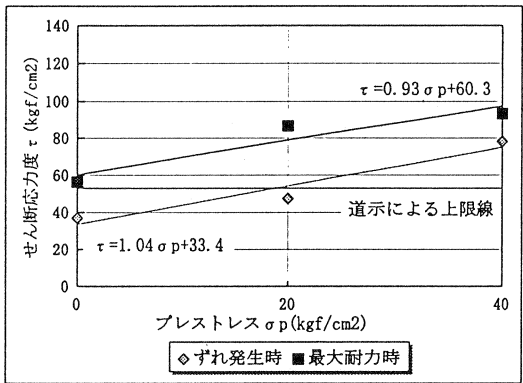


図-14 プレストレスと荷重によるせん断応力度