

### 第3編．複合構造物の継手

### Ⅲ. 複合構造物の継手

#### まえがき

鋼-コンクリート複合構造物は、橋梁を始め土木・建築の各分野でその適用が検討されている。複合構造の中には、部材そのものが合成されているものから、鋼部材とコンクリート部材が混合されているものまで、多種多様である。本研究は、この混合構造物の鋼-コンクリート部材の継手の代表的な例として、桁複合斜張橋や桁複合連続桁に見られる桁継手部を対象を選び、複合構造物の継手に関して基礎的検討を行ったものである。

桁複合構造の継手について過去の工事例を調べてみると、いくつかのタイプの構造が実施されている。継手部の構成要素には、主にジベル、支圧板（前面、後面プレート）、PC鋼棒及び中詰コンクリート等が使用されているようである。しかしながら、設計面から考えると、個々の構成要素の独立した特性は、ほぼ解明されているものの、これらが組み合わさった場合の設計手法については、未だ明確にはされていないのが現状である。本研究では、設計手法を確立するための基礎資料を作ることを目的として、以下の検討を行ってみた。

第1章～第3章では、既応の代表的な継手について構造と機能を整理してみた。第4章では、設計手順についての検討を行った。継手については、未だ明確な設計手法がないとの立場より、実験やFEM解析等の数値検討の中に組み入れた形の設計フローを提案している。第5章では、各構成要素の力の分担率や挙動を調査する目的から、設定した軸力伝達継手モデルに対して、継手長や伝達力の正負を変えたFEM解析によるパラメータスタディを行った結果をまとめている。またこれらの結果より、継手を設計する際の構造選定に関して基礎的な提案を行ってみた。

## 目 次

第 1 章 対象とする構造物	III - 3
第 2 章 継手構造例	III - 4
第 3 章 継手に使用される代表的構造要素と機能	III - 8
第 4 章 設計の考え方	III - 10
第 5 章 解析例	III - 14
5.1 概 要	III - 14
5.2 スタッドの応力伝達特性	III - 15
5.3 前面プレート構造、及び後面プレート構造の応力伝達特性	III - 18
5.3.1 解析モデル	III - 18
5.3.2 圧縮力を伝達する継手	III - 21
5.3.3 引張力を伝達する継手	III - 31
5.4 まとめ	III - 47

第1章 対象とする構造物

ここで取り扱う複合構造物は、異種の素材で出来た部材を、その特徴を生かすように結合して、構造物の部材又は構造物としたものとする。

本検討は、素材の代表である、鋼とコンクリートの部材の結合を対象とする。

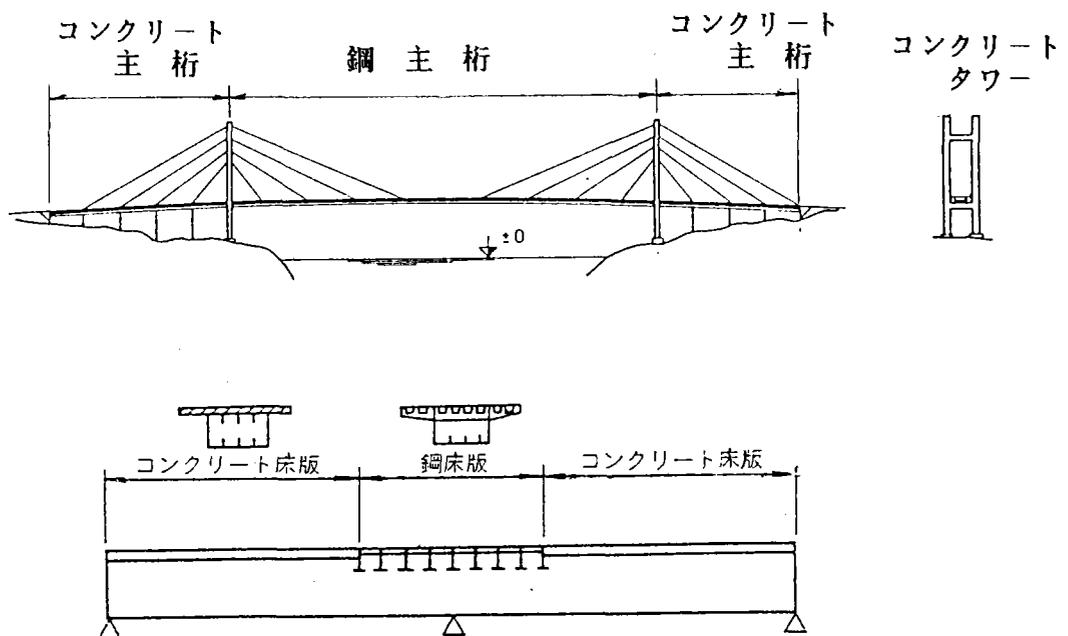
対象と考えられる主な構造物は、

- 1) 複合斜張橋
- 2) 桁橋
- 3) 鋼橋脚とコンクリートフーチング
- 4) 鋼橋脚の柱と梁
- 5) 海洋構造物の部材
- 6) その他

結合部で伝達すべき断面力は、

- 1) 圧縮力
- 2) 引張力
- 3) 曲げモーメント
- 4) せん断力
- 5) 上記の複合力

が考えられるが、本検討は主に軸力伝達に着目する。

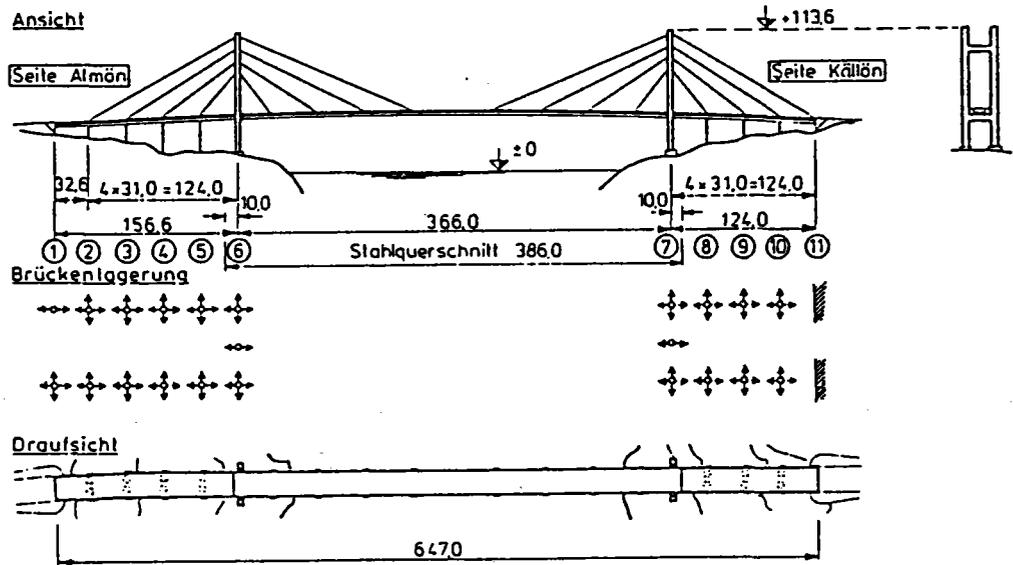


## 第2章 継手構造例

複合構造の継手は、これまでも実構造の一部として採用されたもの、また実験で研究されたものもある。この章では、本研究部会で作成した報告書（昭和60年度）よりTjörn橋・Flehe橋の継手部について、引用し紹介する。

—— Tjörn 新橋 ——

Tjörn 新橋は、船舶の衝突により落橋した旧橋（支間278mのパイプアーチ橋）を再建するため、1982年10月に建設された鋼・コンクリート複合斜張橋である。



連 結 部

鋼桁とRC桁との連結には、長さ3.0mの鋼製連結桁が用いられている（図-2.1）。

連結桁の側径間側 750mmの範囲は、RC桁の中空箱断面の内、外周辺を囲む鋼板構造で、コンクリート前面にも鋼板が張られている。これらの鋼板にはスタッドジベルが溶植され、コンクリートと合成されている。この合成構造から鋼桁側の約1.5mの範囲では、鋼床版・腹板・底板に作用している偏心軸方向力を伝達するために、強固な縦補剛材が設けられている。また、この連結部のコンクリートには、引張応力の発生を避けるためPC鋼棒によってプレストレスが導入されている。

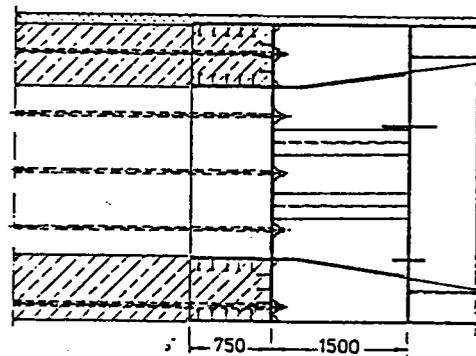
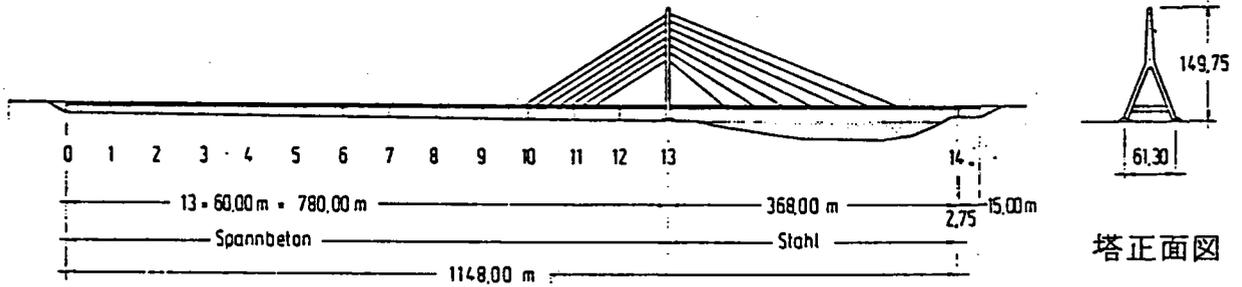


図-2.1 連結部の構造

材が設けられている。また、この連結部のコンクリートには、引張応力の発生を避けるためPC鋼棒によってプレストレスが導入されている。

Düsseldorf-Flehe橋

本橋は、1979年に西ドイツライン州のデュッセルドルフに建設された鋼・コンクリート複合形式の斜張橋である

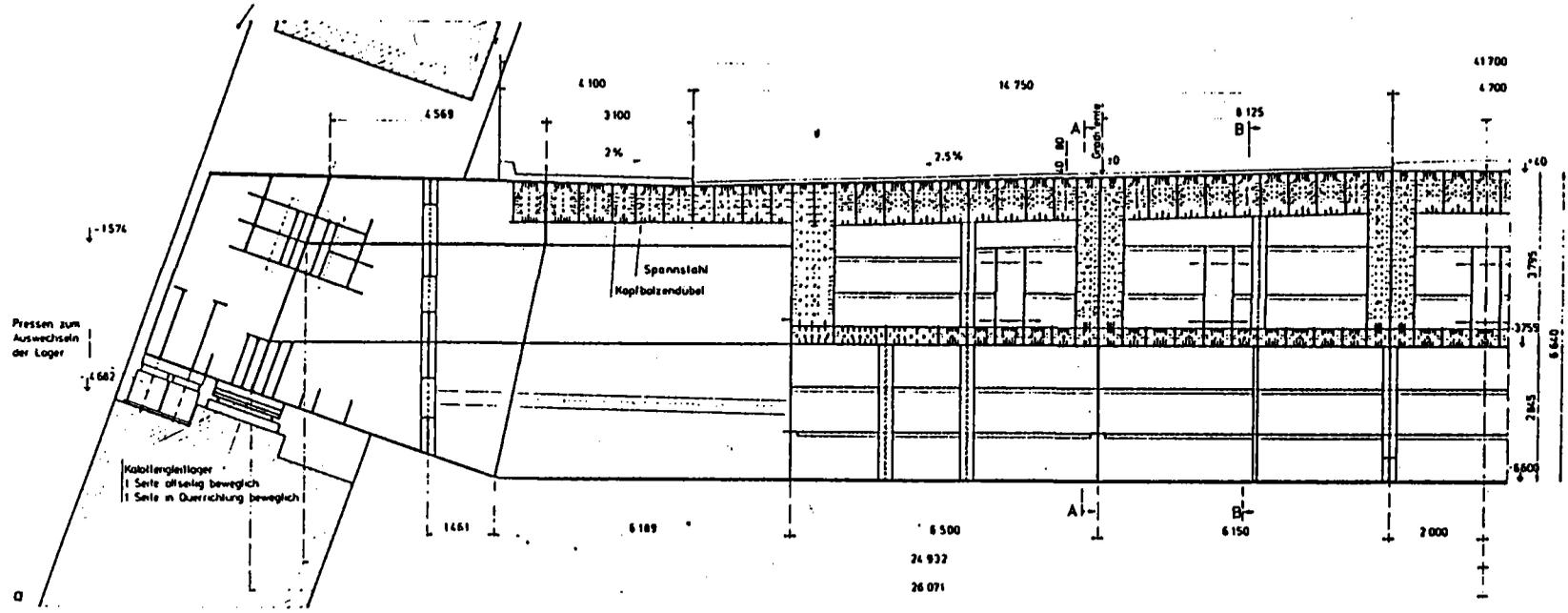


側面図

鋼床版箱桁とPC箱桁との連結部

- 1) 主径間鋼床版箱桁とPC箱桁との連結は、タワーに単純支持された鋼製の横梁で行われている。タワー横梁は、幅 3.4m、高さ 6.6m、支間 52.1m の箱桁構造となっている（図-2.2 参照）
- 2) 断面力の伝達は、接触面に対して直角な力（軸力）と平行な力（せん断力）に分離して計算している。その場合、軸圧縮力はPC桁と鋼梁との接触面の支圧により伝達させるものとし、軸引張力に対しては鋼梁のフランジ面に配置した 14,000 本のスタッドとPC鋼棒により伝達させる構造としている。また、せん断力については、PC桁と鋼梁との接触面に配置した 8,000本のスタッドで伝達させる構造としている。

5  
5~14R



Schnitt B - B

Schnitt A - A

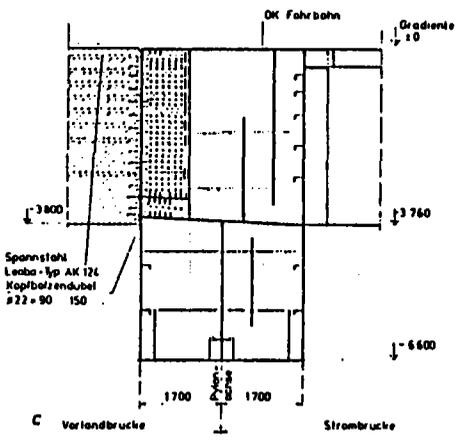
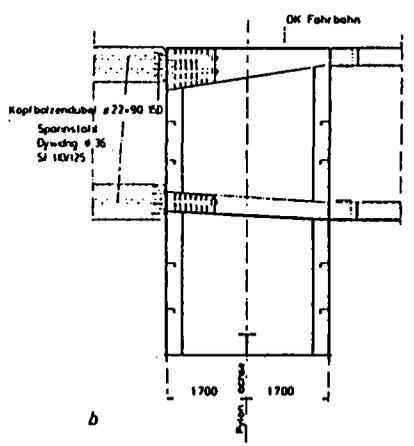


図-2.2 鋼床版箱桁とPC箱桁との連結構造

### 第3章 継手に使用される代表的構造要素と機能

継手に使用される代表的構造要素として、図-3.1に示すようなものがある。

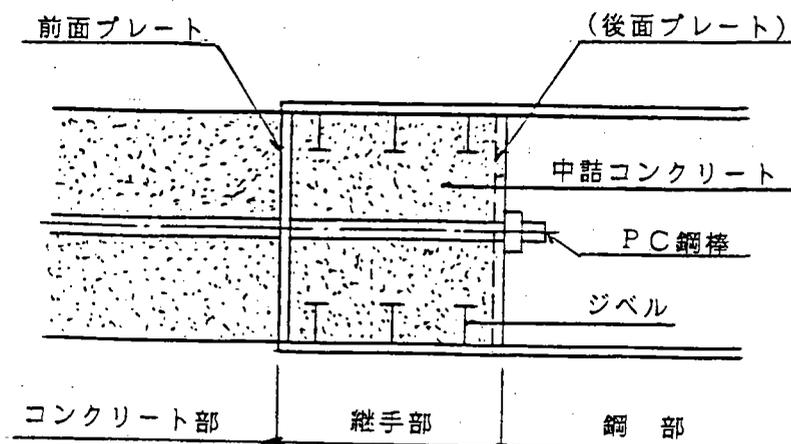


図-3.1

それぞれの要素には次のような機能がある。

- ジベル .....せん断により応力伝達をおこなう。
- 前面プレート .....支圧板として機能することにより応力伝達をおこなう。
- 後面プレート .....支圧板としての機能と、PC鋼棒の定着板としての機能をもつ。
- 中詰コンクリート .....前面プレート方式の場合のみ存在し、前面プレートを補剛する機能と、ジベルを介して応力伝達する機能をもつ。
- PC鋼棒 .....プレストレスをおこなうことにより、コンクリート部の引張を圧縮域に改善する機能をもつ。

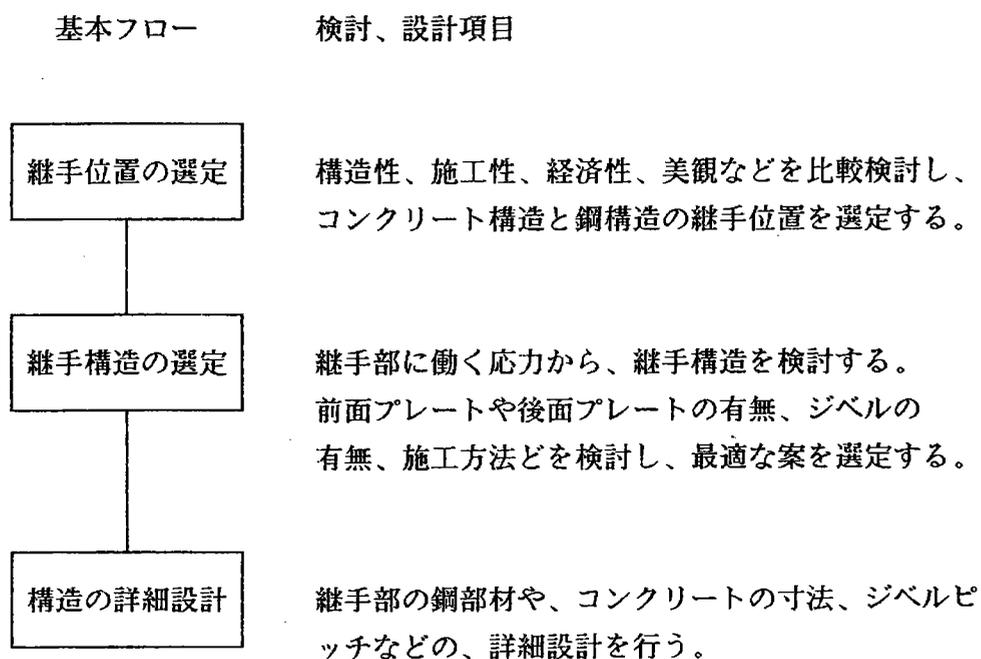
代表的な継手構造と力の伝達方法を 表-3.1に示す。



## 第4章 設計の考え方

### 4.1 設計基本フロー

設計の基本フローを以下に示す。



### 4.2 継手位置の選定

継手位置は、構造全体の機能から、構造的性、施工性、経済性、美観などを比較検討して選定される。選定作業は個々の構造で、特異なものであるから、ここでは、選定作業の詳細については、ふれないことにする。ただ一般的な、継手位置の選定での、好ましい位置について、以下にコメントする。

継手位置の選定には、以下のような条件を満たす場所が望ましい。

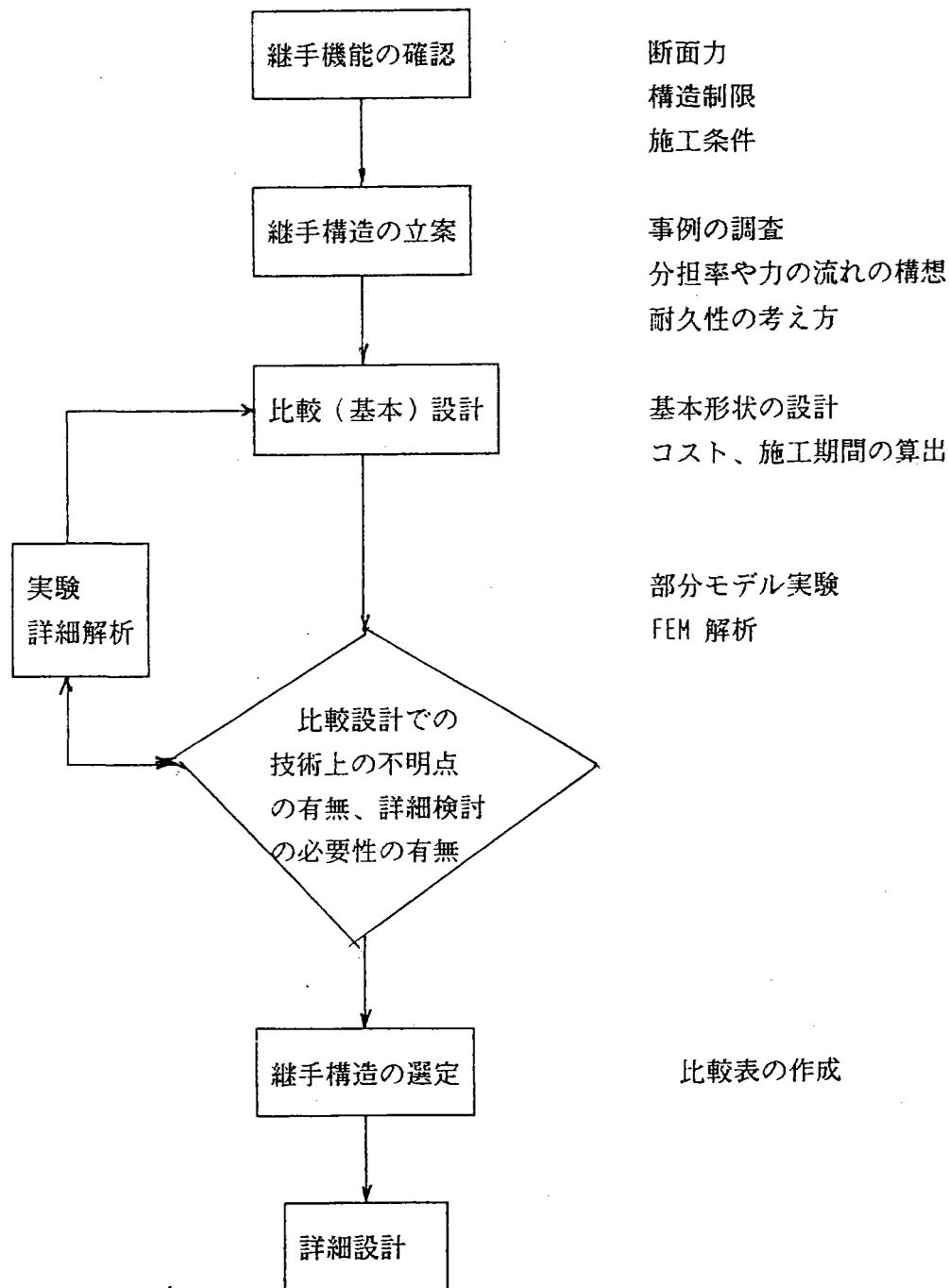
- 複雑な応力が働かないこと。
- 継手部に働く応力や、継手部の影響が把握できること。
- コンクリートの仕上げ面が水平ですむこと。
- 鋼部材の設置が容易であること。
- コンクリート工事と鋼部材の工事が錯綜しないこと。

### 4.3 継手構造の選定

#### 4.3.1 選定における検討フロー

継手構造選定の検討フロー

検討、設計項目



#### 4.4 継手構造の詳細設計

##### 4.4.1 詳細設計における検討事項

###### 設計条件での検討事項

---

構造条件

施工条件

基本形状

継手部としての荷重の組合わせ検討

詳細設計解析モデル

###### 詳細設計事項

---

部材応力照査

図面作成

施工計画作成

###### 特記検討事項

---

詳細に検討する場合の検討事項として、一般的な検討以外の事項で、考えられるものを、参考として載せた。必ず詳細な検討が必要なものではない。

継手部の剛性

防食対策

耐久性、疲労設計

継手部コンクリートの収縮による、二次応力

施工時の応力

施工方法を考慮した、構造DETAIL

#### 4.4.2 注意事項

応力計算で、考慮することが望ましい事項

前面PLや後面PLと側鋼板との、隅角部近傍などの、コンクリートや鋼板の応力集中  
ジベルなどがある側鋼板に働く、面外応力  
ジベルの応力分担の仮定と、計算結果との整合  
コンクリートのクリープ、乾燥収縮の影響

施工条件で、考慮することが望ましい事項

コンクリート打設方向と充填の確認  
コンクリートのレイトランス処理  
継手部構造体の位置決め方法

## 第5章 解析例

### 5.1 概要

継手構造部の応力伝達特性を調べるために、FEMによる数値検討を行う。対象とした構造は、スタッドを有した継手構造で、内部に前面プレートあるいは後面プレートを持つ継手とする。本検討は、伝達力が軸力（圧縮力あるいは引張力）の場合について、基本的なパラメータスタディを行ったものである。前面プレート及び後面プレート構造を検討する前に、スタッドの定着長に関する検討を行い、これを5.2に述べる。パラメータスタディの結果は5.3にまとめる。

5. 2 スタッドの応力伝達特性について

継手の構造要素の中でスタッドは、広い範囲に分布した伝達特性をもち、終局耐力を向上させるために有効である。

この項ではスタッドをせん断バネと考え、そのバネ定数を変化させると、どのような応力伝達がおこなわれるかを簡単なモデルで試算する。あわせて理想的な応力伝達を示すバネ定数をもつスタッドが設計可能かどうかを検討する。

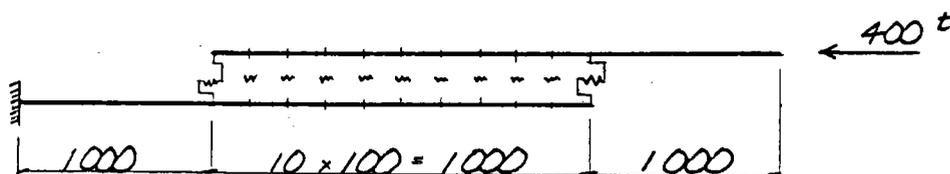


図-5. 2. 1 解析モデル

仮定剛度 (棒部材)

$$A = 0.02 \text{ m}^2 \quad (= 1.0 \text{ m} \times 20 \text{ mm})$$

$$E = 2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2$$

バネ定数

	バネ定数 K (t/m)
ケース 1	$3.818 \times 10^2$
" 2	" $\times 10^4$
" 3	" $\times 10^6$
" 4	" $\times 10^8$
" 5	" $\times 10^{10}$
" 6	バネ定数を $k=3.818 \times 10^6 \sim 0.0$ に三角形変化させたもの
" 7	" $k=3.818 \times 10^4 \sim 0.0$ "
" 8	ケース3のバネ定数で、下側棒部材を $E=2.1 \times 10^6$ としたもの

解析結果

上側棒部材の軸力の変化を示すと図-5. 2. 2のようになる。

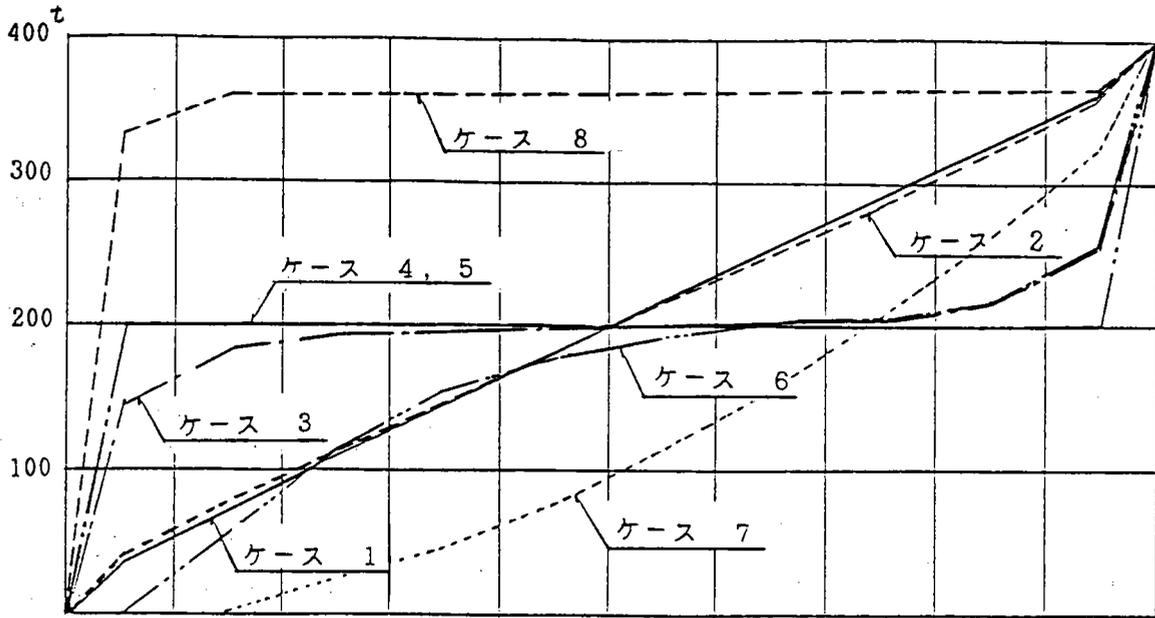


図-5. 2. 2 上側棒部材の軸力変化図

この結果を模式的に図-5.2.3に表す。

図に示すように、棒の剛性に比べてせん断バネ定数が大きい場合、継手の両端部のジベルに応力が集中してしまう。バネ定数は小さい方がせん断力は均等に作用すると考えられる。

本図のモデルにおいて、ケース2に相当する剛性は、これまでの研究成果<sup>\*</sup>で述べられている1本当りのバネ定数  $K_0 = 1.5 \times 10^5 \text{ t/m}$  を参考にすると、約  $20.0 \text{ m} \times 20.0 \text{ m}$  の格子状に配置したスタッドジベルに相当する剛性である。

※Studd Shear Connector の試験報告、山本他、土木研究所報告、S.38.1.

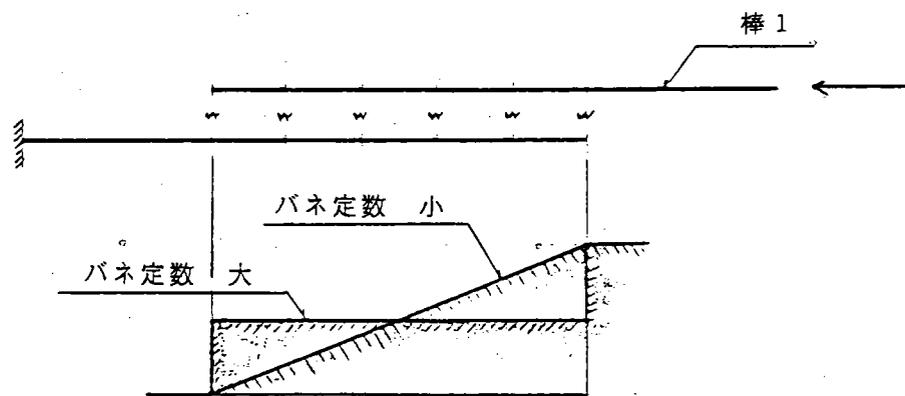


図-5.2.3 棒1の軸力変化図

5.3 前面プレート構造、及び後面プレート構造の応力伝達特性

前面プレートあるいは後面プレートを有する継手の基本特性を把握するために、FEM解析を行う。

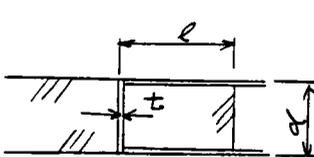
5.3.1 解析モデル

図-5.3.1.1に示すように、複合桁を想定し、そのフランジの一部を取り出し、図-5.3.1.2に示すモデル化を考える。モデルの基本寸法を、実構造規模とし、コンクリートの厚さを300mm、上下に挟む鋼板の板厚を12mm、前面プレート(後面プレート)の板厚を12mm、使用するスタッドを22φとする。継手の長さは、継手厚さの2倍(600mm)を基本寸法とする。この継手に $N = \pm 200 \text{ ton/m}$ の軸力が作用する場合について、FEM解析を行う。モデルにおける諸定数を表-5.3.1.1、圧縮力200tに対する各部応力度を表-5.3.1.2に示す。

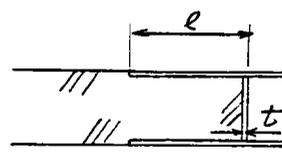
圧縮力が作用する場合、引張力が作用する場合のそれぞれに対して、前面プレート案と後面プレート案を検討することとし、個々の検討ケースに対して、下表に示すパラメータスタディを行う。比較のために、プレートをつけない場合(解析ケースにおける $t = 0$ )も検討ケースに含めている。

板厚	定着長		
	$l=d$	$l=2d$	$l=3d$
$t=0$		○	
$t=12\text{mm}$	○	○	○
$t=24\text{mm}$		○	



(前面プレート案)



(後面プレート案)

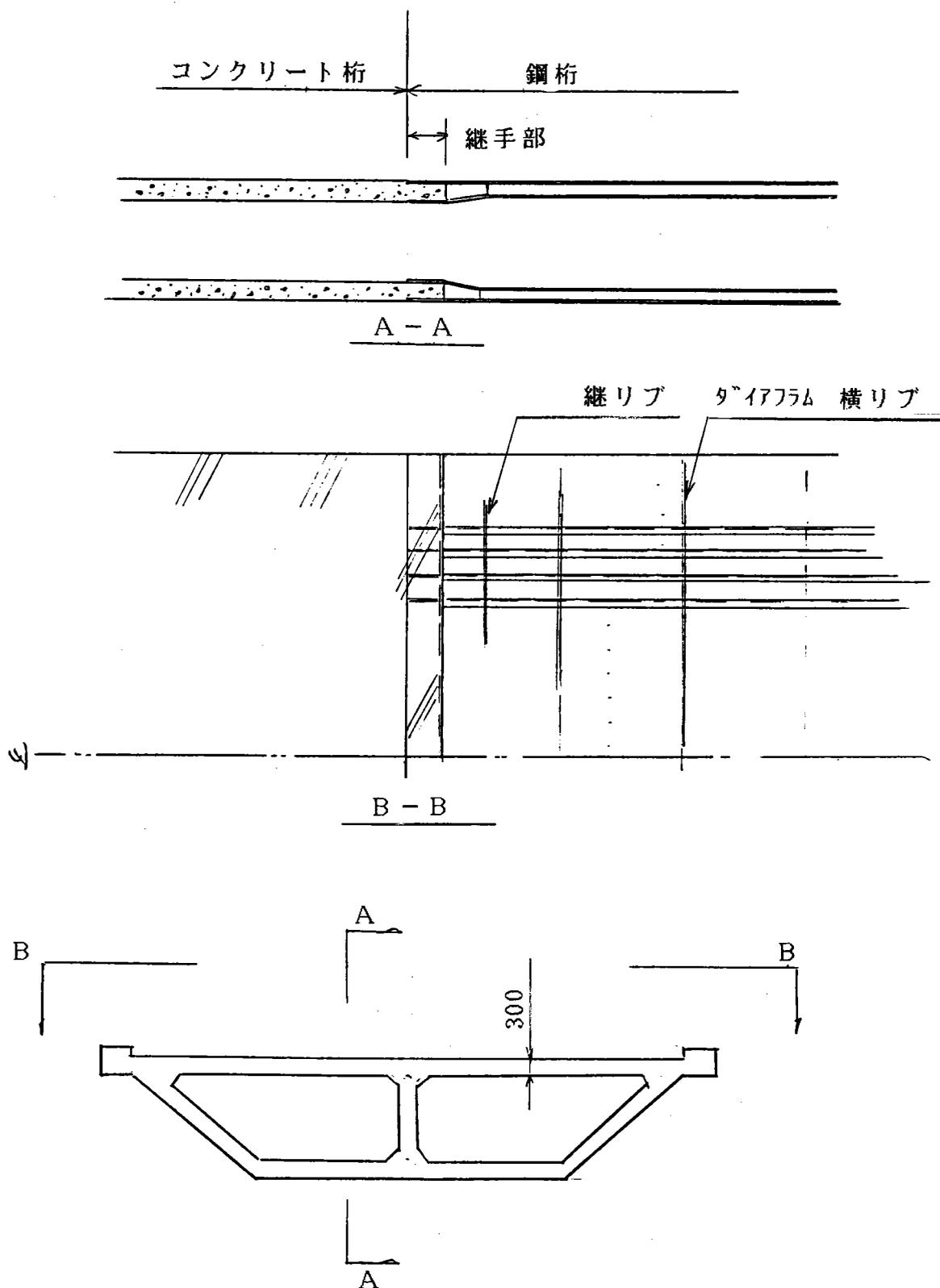


図-5.3.1.1 対象とする複合桁

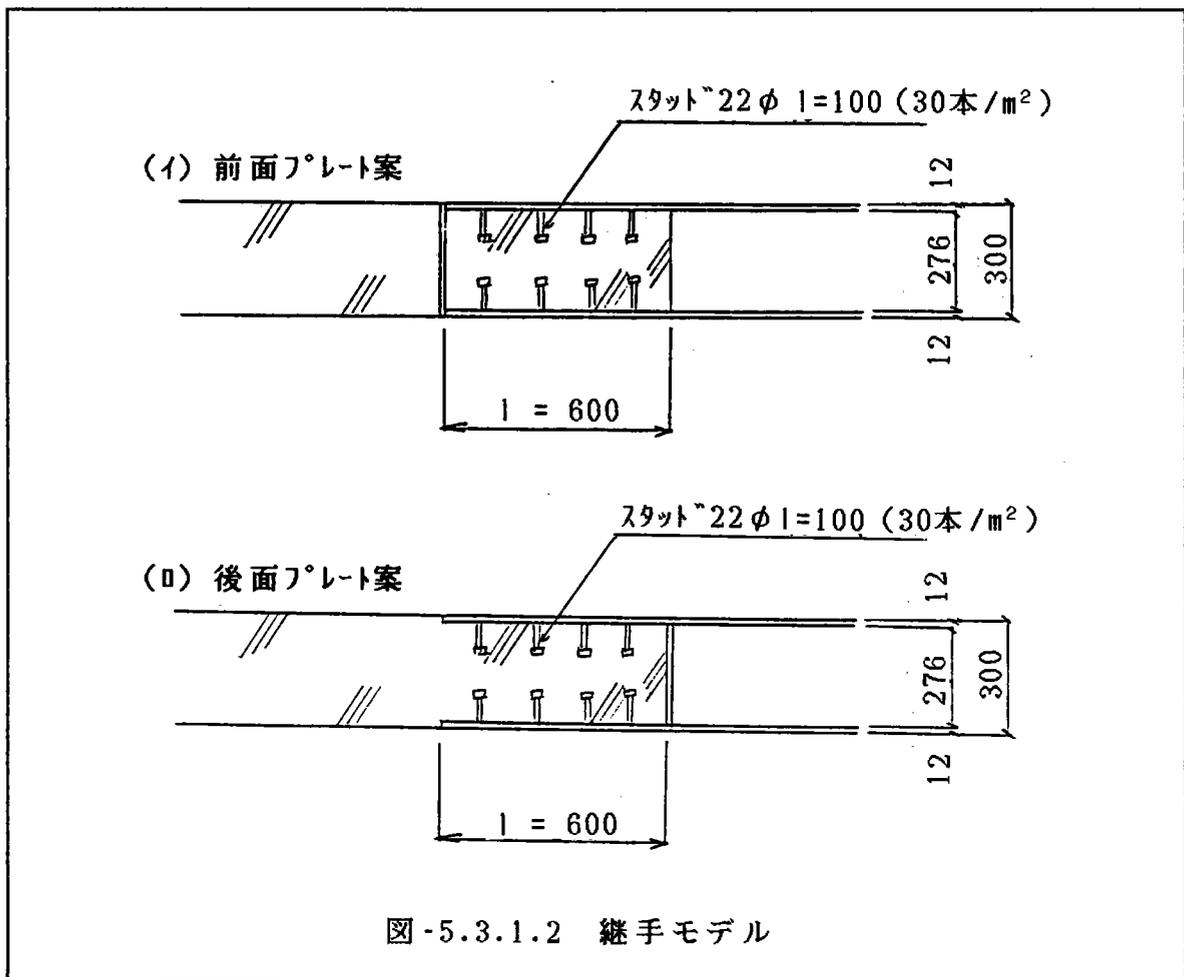


図-5.3.1.2 継手モデル

表-5.3.1.1 モデル諸定数

鋼板	SM50Y, $\sigma_y = 3600 \text{ kg/cm}^2$ , ( $\sigma_{ta} = 2100 \text{ kg/cm}^2$ ), $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ , $\nu_s = 0.3$
コンクリート	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$ , ( $\sigma_{ca} = 140 \text{ kg/cm}^2$ ), $E_c = 3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ , $\nu_c = 0.167$
スタット	22φ、l = 120mm ( $P_a = 2.9 \text{ t/本}$ )、 $k = 0.20 \times 10^6 \text{ kg/cm/本}$ ※1

※1 土木研究所報告「Studd Shear Connector の試験報告、山本他、S.38.1.」に示されているスタッドボルトのズレ常数  $k = 0.15 \times 10^6 \text{ kg/cm/本}$  に対し、若干大きく設定した。

表-5.3.1.2 各部応力度 (圧縮力200t)

鋼板	$\sigma_s = 833 \text{ kg/cm}^2$ (一般部)
コンクリート	$\sigma_c = 67 \text{ kg/cm}^2$ (一般部)
スタット	$P = 2.78 \text{ ton/本}$ ※2 (継手部)

※2 軸力の50%(=100t)がスタッドより伝達すると仮定した場合の平均せん断力

### 5.3.2 圧縮を伝達する継手

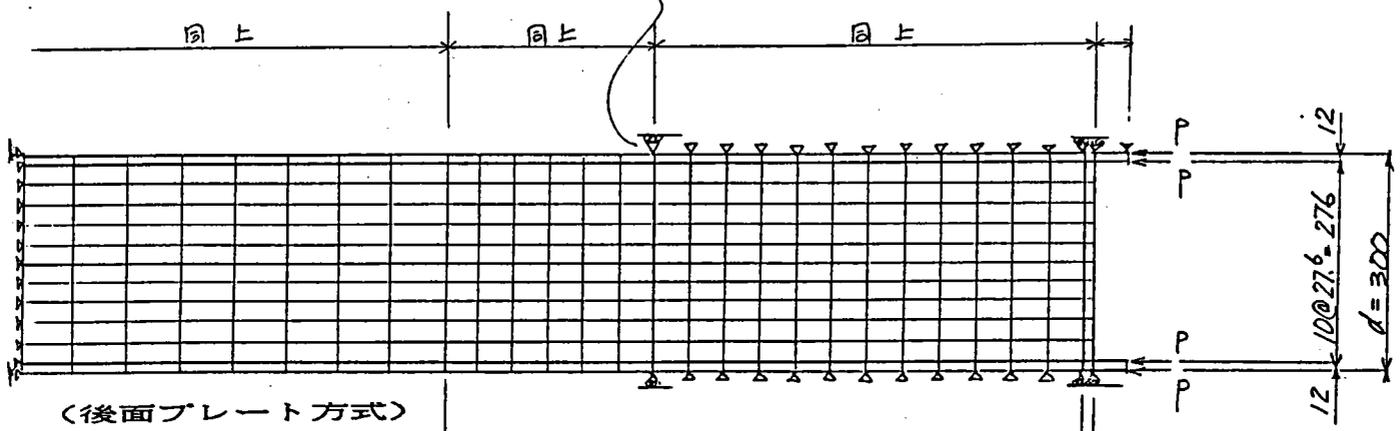
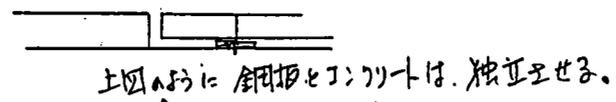
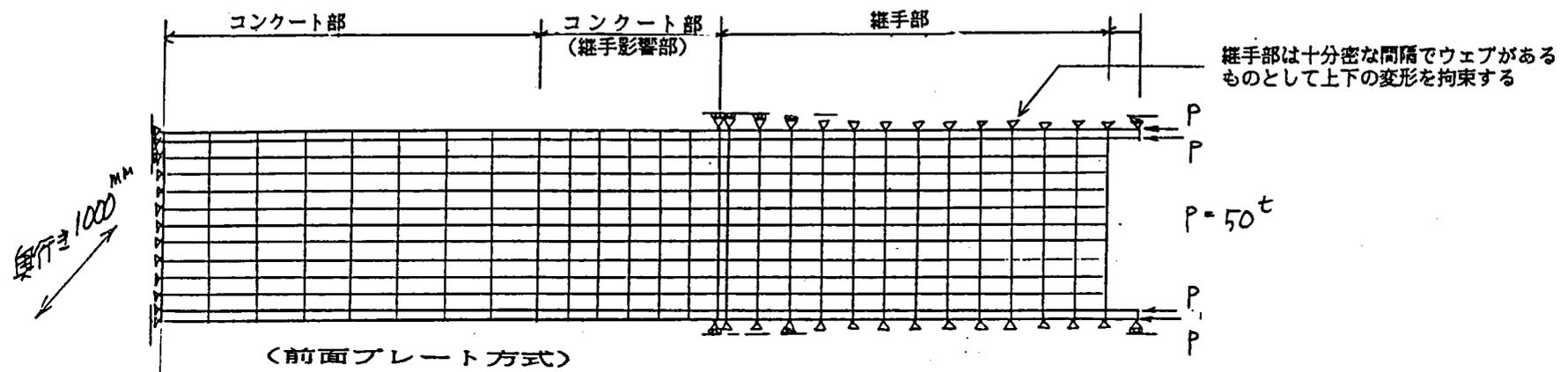
前面プレート方式と後面プレート方式についてコンクリートとSteelのラップ長さおよび前面プレート・後面プレートの板厚を変化させて以下の諸量を比較する。

- ① コンクリートの応力集中の状況（引張域・過圧縮域）
- ② 前面プレート・後面プレートとスタッドの力の伝達の分担率
- ③ スタッドの力の伝達の（スタッドのせん断力の）分布状況

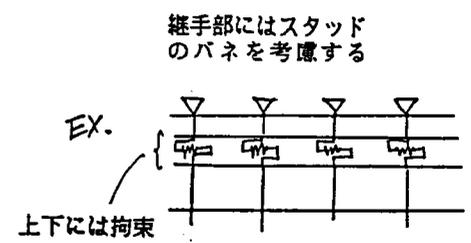
比較するケースを下表に示す。

	前面プレート方式	後面プレート方式
case.1	l=600mm , t=12mm	l=300mm , t=12mm
case.2	l=600mm , t=12mm	l=600mm , t=12mm
case.3	l=900mm , t=12mm	l=900mm , t=12mm
case.4	l=600mm , t= 0mm	l=600mm , t= 0mm
case.5	l=600mm , t=24mm	l=600mm , t=24mm

解析モデルは前面プレートと後面プレートでスタッドのバネ置換の方法が異なるが、要素分割等は全て同じである。解析モデルの要素分割を case.2 について次ページに示す。なお、前面プレート方式のモデルは対称条件を利用して 1/2 モデルを使用している。



$n @ 75 =$        $n @ 50 =$



### <コンクリートの応力集中>

前面プレート方式と後面プレート方式について5ケースのコンクリートの応力集中の状況について引張域と  $100\text{kg}/\text{cm}^2$  を越える圧縮域（以下高圧縮域と呼ぶ。）を次ページ以下に示す。ただし、応力度はx軸方向応力度を示している。

引張域は前面プレート方式にのみ見られ、後面プレート方式では現われていない。引張域は前面プレート付近の継手内コンクリートの隅角部に発生している。しかしコンクリートとSteelのラップ長さが  $3d$  ( $=900\text{mm}$ ) の場合には引張域が減少し、ほとんど消滅している。

高圧縮域は標準部の応力度  $200\text{t}/(100\text{cm} \times 30\text{cm})=66.7\text{kg}/\text{cm}^2$  に対し50%増しの  $100\text{kg}/\text{cm}^2$  以上となる応力域であり、これを図に示した。

前面プレート方式では前面プレート付近のコンクリート桁側の隅角部に高圧縮域が発生し、コンクリートとSteelのラップ長さが  $3d$  ( $=900\text{mm}$ ) の場合には引張域の場合と同じように高圧縮域が減少している。

後面プレート方式では継手内コンクリートの後面プレート付近の隅角部に高圧縮域が発生している。しかし、前面プレート方式ではコンクリートとSteelのラップ長さが  $3d$  ( $=900\text{mm}$ ) の場合には顕著に高圧縮域が減少しているが、後面プレート方式ではそれほど大きな効果は表われていない。

板厚を変化させたケースにおいて、プレートをつけない場合（解析ケースにおける  $t=0$ ）は、全ての力がスタッドから伝達されることとなり、コンクリートに解析上の応力集中は生じていない。（\*<sup>1</sup>）

前面プレートの板厚を変化させたケースでは、板厚が  $t=24\text{mm}$  の場合の方が  $t=12\text{mm}$  の場合よりも応力集中の範囲が幾分小さいようであるが、後面プレートの板厚を変化させたケースでは、板厚の違いによる差違は無い。

\*<sup>1</sup>（注記：本解析ではスタッド近傍の応力集中についてはモデル化を行っていないため、評価していない。）

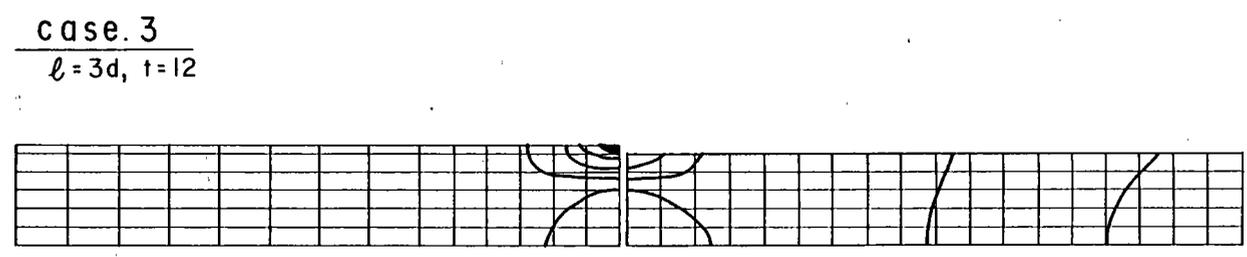
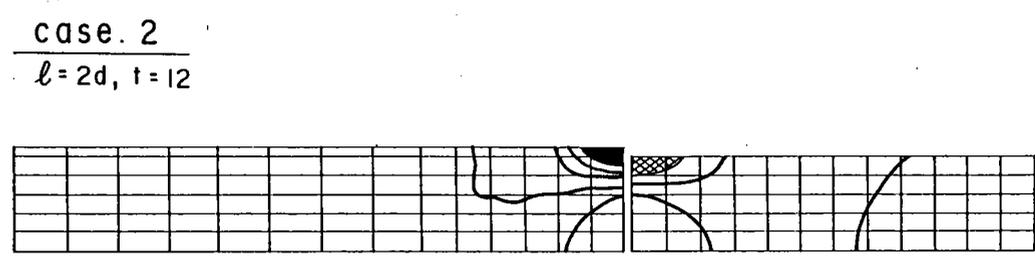
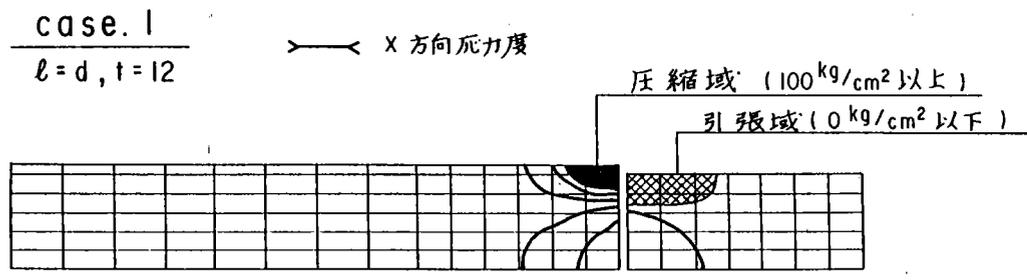
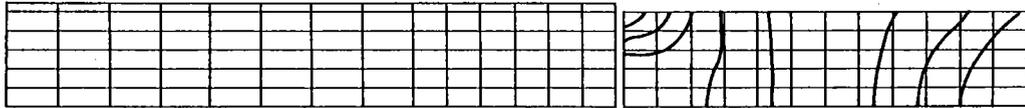


図 5.3.2-1  
 コンクリートの応力集中 その1  
 (前面プレート方式)

case. 4  
 $\ell = 2d, t = 0$



case. 2  
 $\ell = 2d, t = 12$



case. 5  
 $\ell = 2d, t = 24$



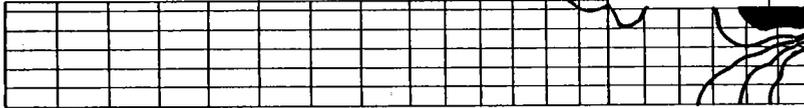
図 5.3.2-1  
コンクリートの応力集中 その2  
(前面プレート方式)

case. 1

$l = d, t = 12$

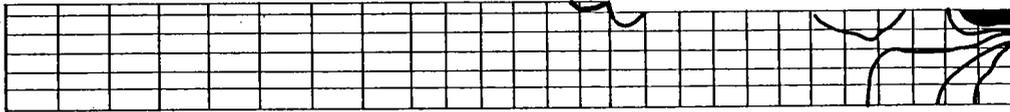
→ ← x 方向応力度

圧縮域 (100 kg/cm<sup>2</sup>以上)



case. 2

$l = 2d, t = 12$



case. 3

$l = 3d, t = 12$

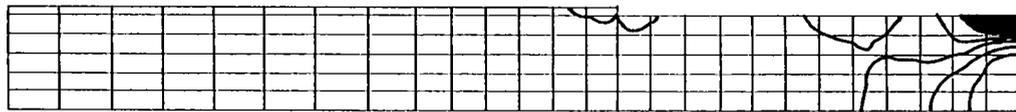


図 5.3.2-2  
コンクリートの応力集中 その1  
(後面プレート方式)

case. 4  
 $l = 2d, t = 0$



case. 2  
 $l = 2d, t = 12$



case. 5  
 $l = 2d, t = 24$

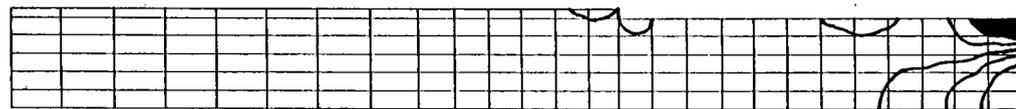


図 5.3.2-2  
 コンクリートの応力集中 その2  
 (後面プレート方式)

<スタッドのせん断力>

前面プレート方式と後面プレート方式について5ケースのスタッドが力を伝達する分担率について下表に示す。

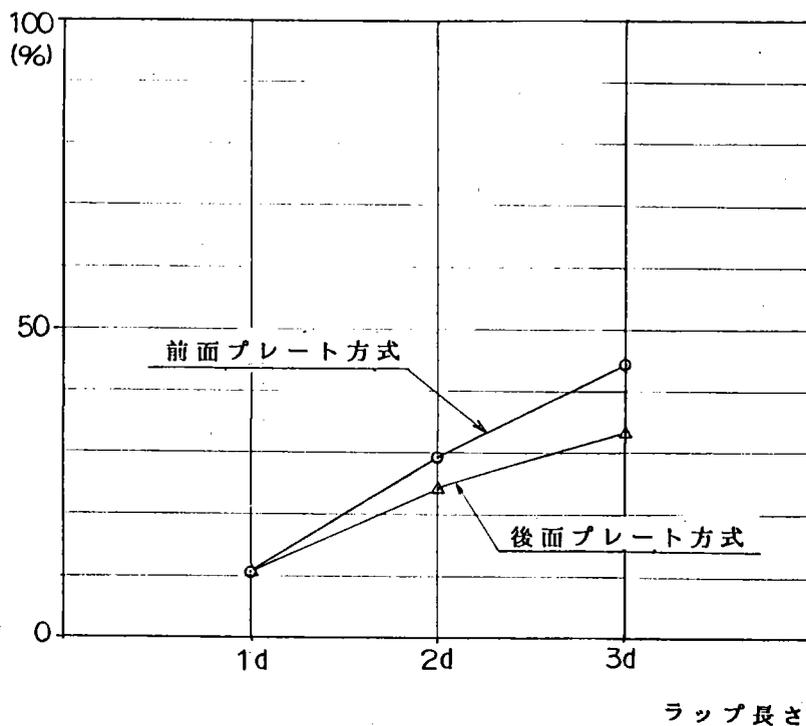
スタッドの力の分担率 (%)

case	前面プレート方式	後面プレート方式
1 d=300mm, t=12mm	11	11
2 d=600mm, t=12mm	29	24
3 d=900mm, t=12mm	44	33
4 d=600mm, t= 0mm	100	100
5 d=600mm, t=24mm	28	21

前面プレート方式と後面プレート方式ともプレートをつけない場合には、全ての力がスタッドから伝達されることとなり、スタッドの分担率は100%となる。これに対し、コンクリートとSteelのラップ長さを1d~3d (=300~900mm)まで変化させた場合には、ラップ長さが長くなるにしたがってスタッドの分担率が前面プレート方式では11~44%、後面プレート方式では11~33%と変化している。

ラップ長さとスタッドの分担率

スタッドの分担率

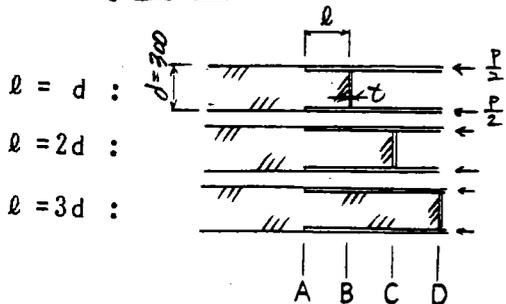


スタッドのせん断力の分布状況を次ページの図に示す。

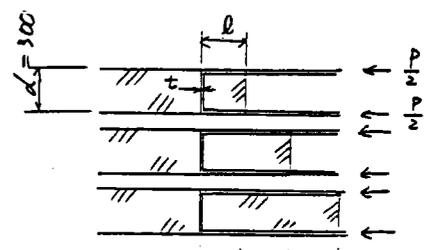
図からも分かるように各ケースのせん断力の分布状態はほぼ三角形分布であり、スタッドを設計する際に平均せん断力を使用する場合には注意が必要であることを示している。

スタッド1本あたりに作用するせん断力は前面プレート方式と後面プレート方式ともプレート付近のスタッドが最大となっており、さらに、コンクリートとSteelのラップ長さを $1d \sim 3d (=300 \sim 900\text{mm})$ まで変化させた場合には、ラップ長さが長くなるにしたがってスタッド1本あたりに作用するせん断力は大きくなっている。

(後面プレート方式)



(前面プレート方式)



——— 前面プレート方式  
 - - - 後面プレート方式

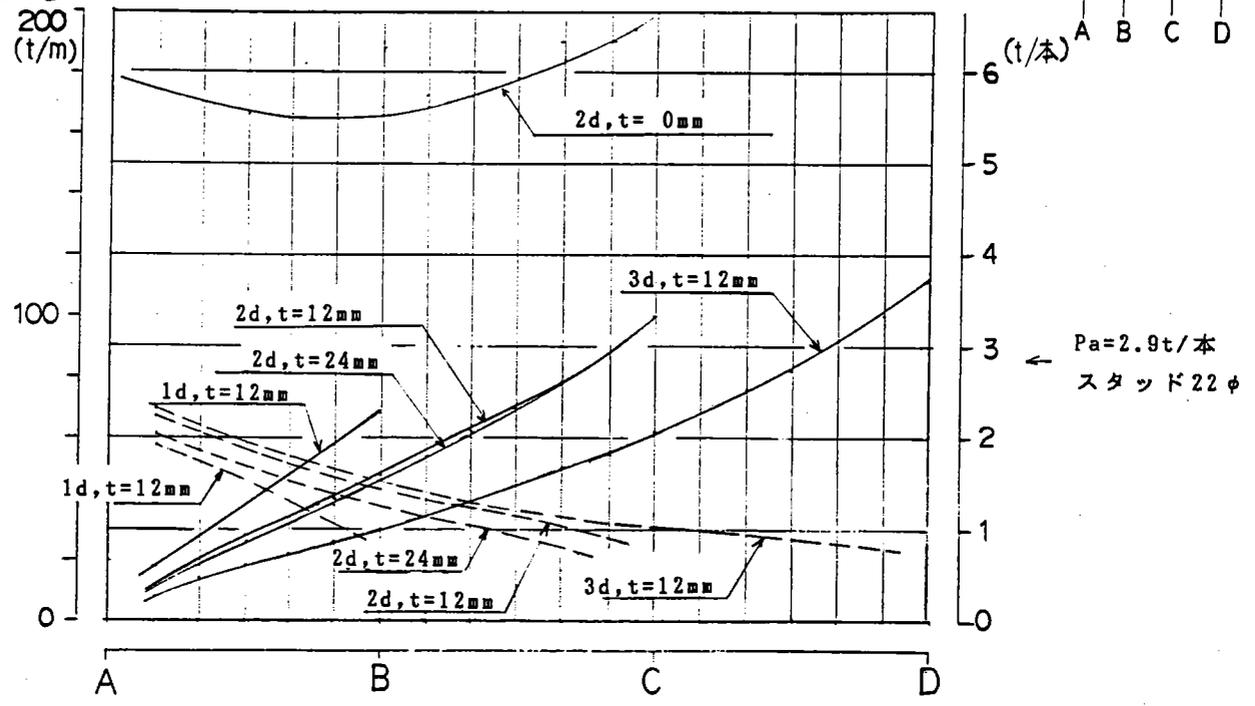
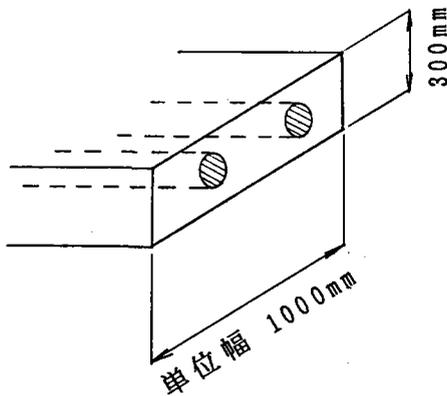


図 5.3.2-3  
 スタッドに作用するせん断力  
 (軸力 200t に対して)

5. 3. 3 引張を伝達する継手

鋼部材とプレストレスコンクリート部材の間で引張を伝達する場合は、PC鋼棒は不可欠と思われる。そこで、引張を受ける継手の解析モデルでは次のPC鋼棒を想定し、プレストレスを導入した場合（作用引張力がプレストレスより小さい場合）も解析する。

PCケーブル



・ S E E E F 1 6 0 (  $\phi$  1 5 . 2 m m x 7 本 )

$$A_s = 970.9 \text{ mm}^2$$

$$E = 2.05 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

・ プレストレス

$$P = 90 \text{ t/本 (180 t/m)}$$

$$\sigma_P = \frac{180 \times 10^3}{30 \times 100} = 60 \text{ kg/cm}^2$$

比較検討項目は圧縮を受ける継手の場合と同様とし、比較するケースを下表に示す。

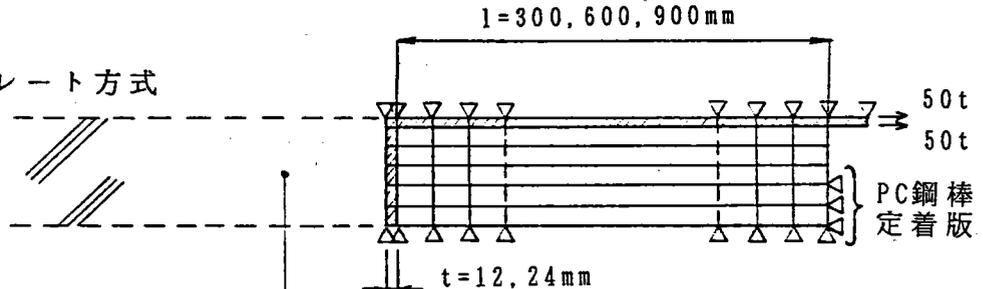
表 5. 3. 3. 1 解析ケース

	前面ﾌﾟﾚｰﾄ方式	後面ﾌﾟﾚｰﾄ方式
Case. 1	l=300mm t=12mm (f-1)	同 左 (b-1)
Case. 2	l=600mm t=12mm (f-2)	同 左 (b-2)
Case. 3	l=900mm t=12mm (f-3)	同 左 (b-3)
Case. 4	l=600mm t= 0mm (f-4)	—————
Case. 5	l=600mm t=24mm (f-5)	同 左 (b-5)
Case. 6	Case. 1にﾌﾟﾚｰｽﾄﾚｽ導入 (f-6)	同 左 (b-6)
Case. 7	Case. 2にﾌﾟﾚｰｽﾄﾚｽ導入 (f-7)	同 左 (b-7)
Case. 8	Case. 3にﾌﾟﾚｰｽﾄﾚｽ導入 (f-8)	同 左 (b-8)

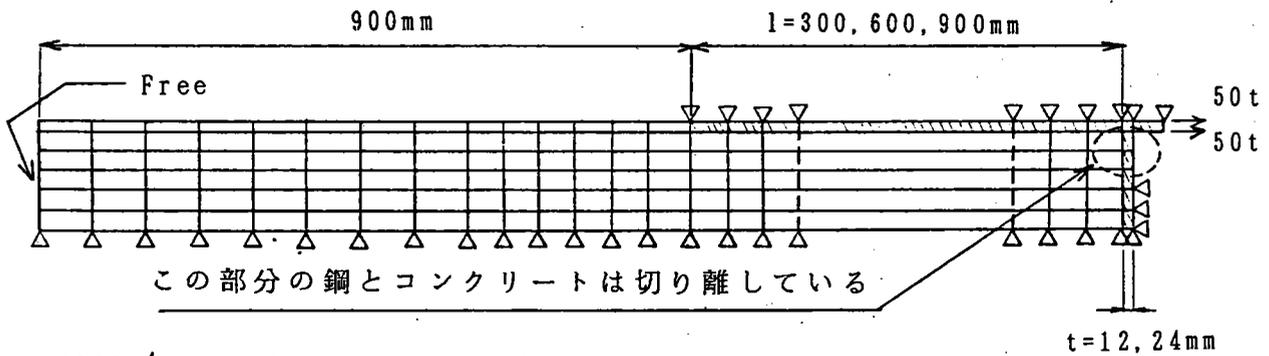
次に各ケースにおける解析モデルを示す。なお、モデルは片側半分のみとし、メッシュの大きさは圧縮の場合と同じである。

case. 1~3, 5

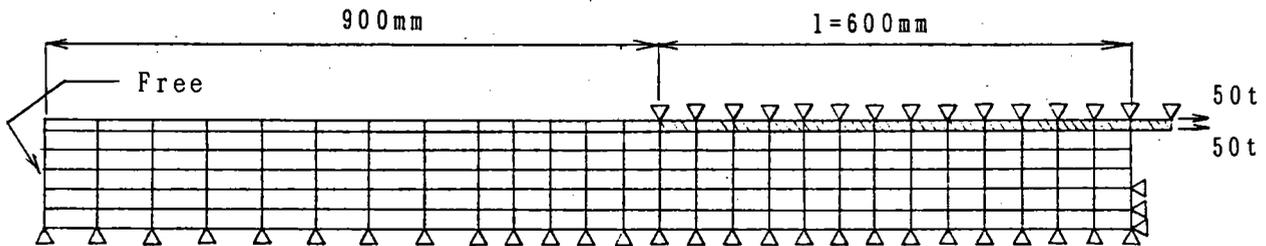
・ 前面プレート方式



・ 後面プレート方式

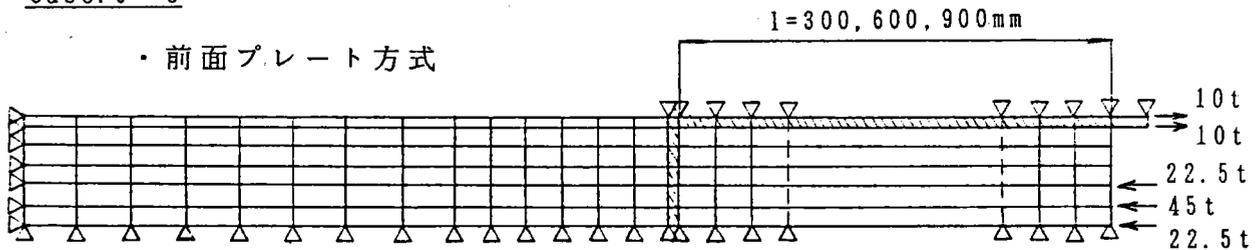


case. 4



case. 6~8

・ 前面プレート方式



・ 後面プレート方式

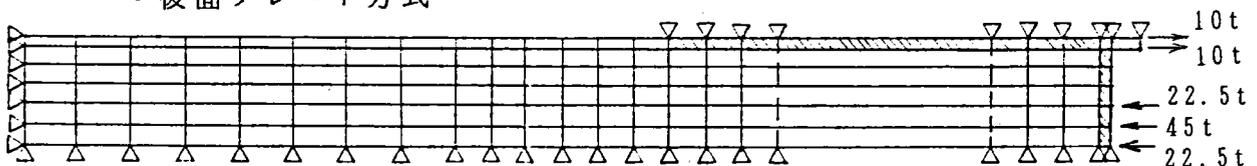


図 5.3.3.1 解析モデル

### <コンクリートの応力集中>

圧縮を伝達する継手と同様に引張域と $100\text{ kg/cm}^2$ を越える高圧縮域を次ページに示す。

前面プレート方式の場合、継手長が長くなると、PC鋼棒定着部付近の応力分布は余り変化しないのに対して、前面プレート隅角部付近の応力集中（応力の等高線間隔により判断できる）は小さくなり、スタッドによる力の伝達の増加を示している。（図 5.3.3.2 ~ 4）

後面プレートの場合、継手部先端から斜めに引張域が拡がっており、この形式ではプレストレスが必要になる事がわかる。後面プレート付近の応力集中は、継手長 $l = 300\text{ mm}$ は他のケースに比べやや大きい、 $l = 600\text{ mm}$ と $l = 900\text{ mm}$ ではほとんど差がなく、後面プレートから直接PC鋼棒定着部に、引張力が伝達される傾向にある。（図 5.3.3.10 ~ 12）

プレートをつけない場合（図 5.3.3.5）の応力分布形は後面プレートの場合に似ている。前面プレートの場合、プレートがコンクリートに補剛された形になるので、板厚差の影響はほとんどない。（図 5.3.3.3及び6）後面プレートの場合、板厚が大きくなるとコンクリートの応力が減少し、板厚が重要な要因となっている事がわかる。（図 5.3.3.11及び13）

プレストレスがある場合はどのケースも引張域が生じていない。前面プレートで $l = 300\text{ mm}$ の場合のみやや応力分布が異なるものの、他は余り差がない。有効なプレストレスがある場合は、前面、後面の差は余りないように思われる。

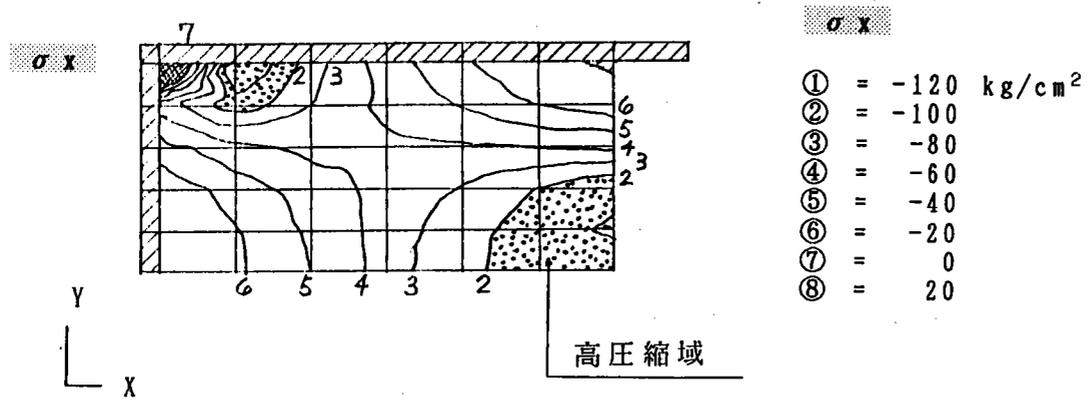


図 5.3.3.2 コンクリート応力分布 (前面ﾌﾞﾚｯﾄ case.1) f-1

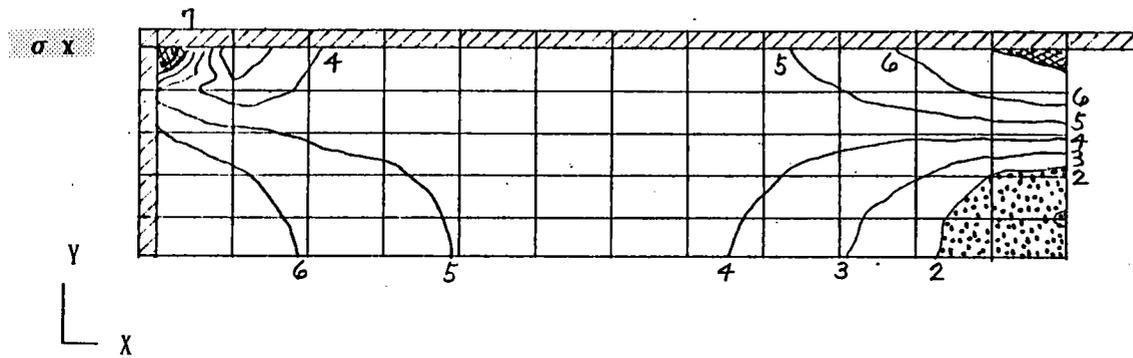


図 5.3.3.3 コンクリート応力分布 (前面ﾌﾞﾚｯﾄ case.2) f-2

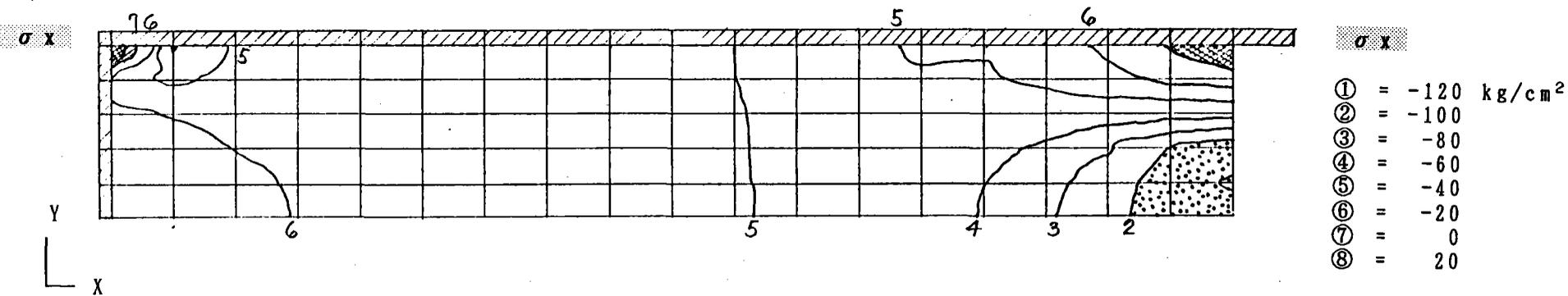


図 5.3.3.4 コンクリート応力分布 (前面プレート case.3) f-3

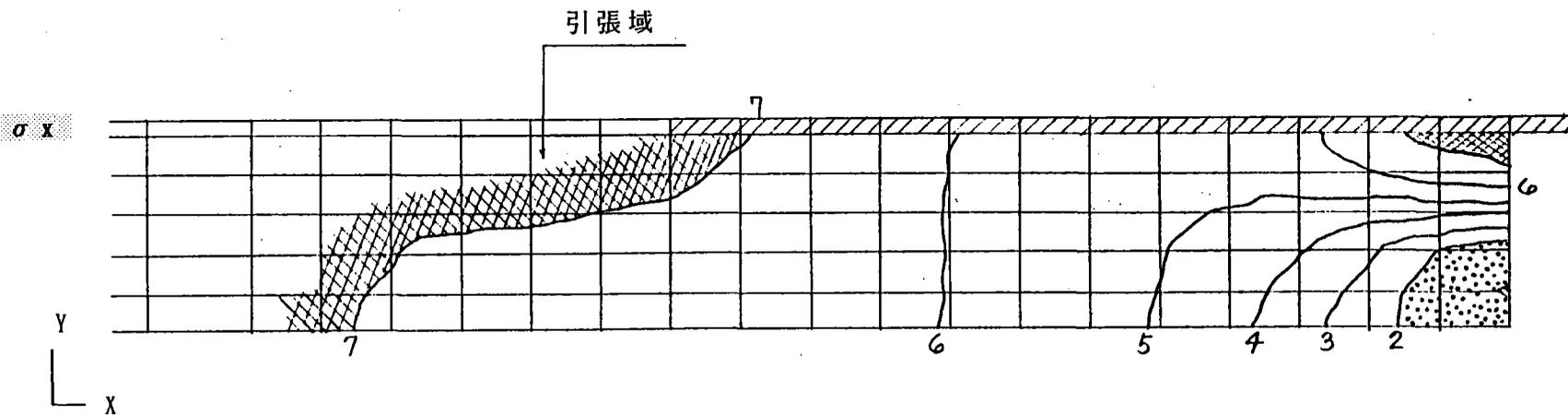


図 5.3.3.5 コンクリート応力分布 (前面プレート case.4) f-4

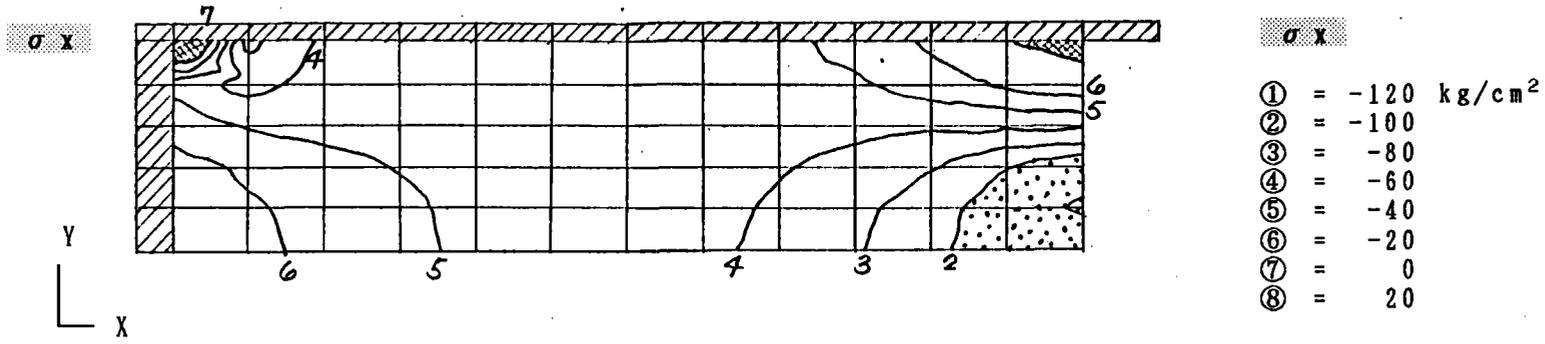


図 5.3.3.6 コンクリート応力分布 (前面ﾌﾞﾚｯﾄ case.5) f-5

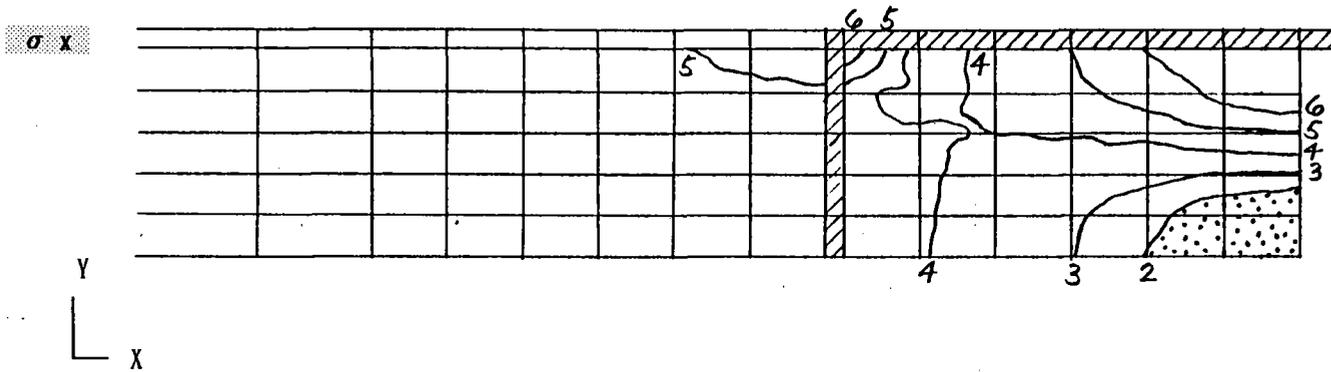
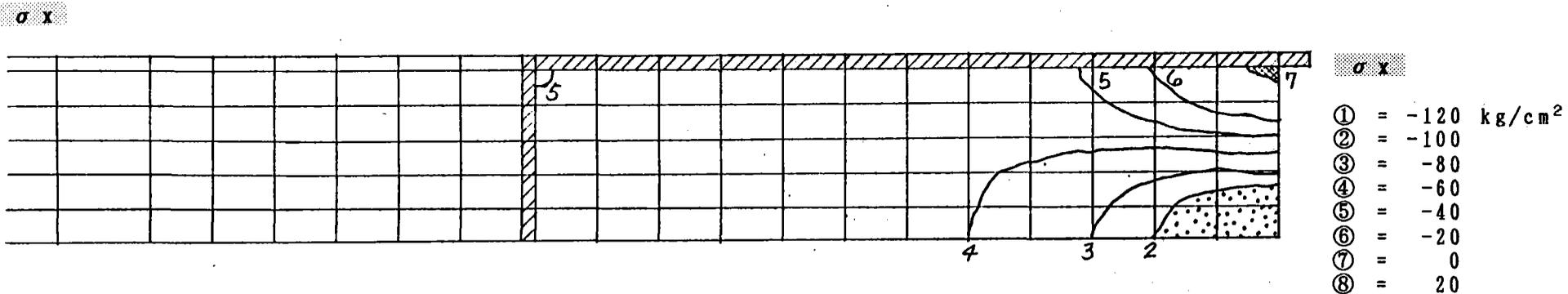
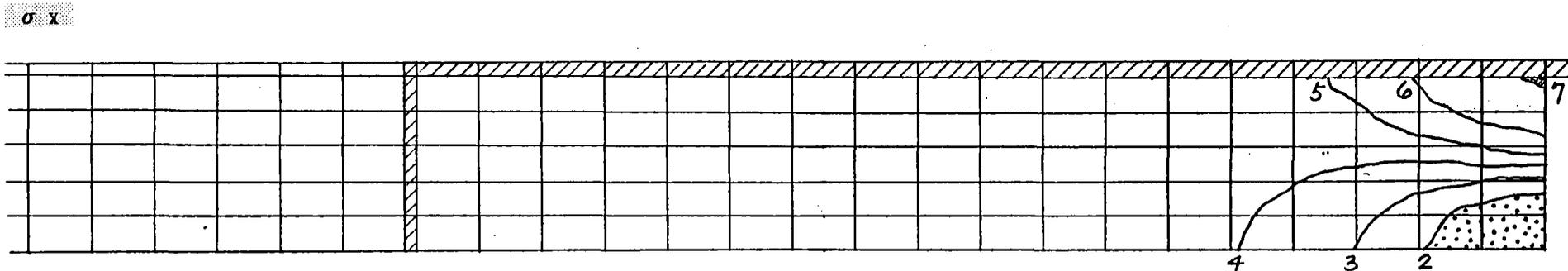


図 5.3.3.7 コンクリート応力分布 (前面ﾌﾞﾚｯﾄ case.6) f-6



Y  
X

図 5.3.3.8 コンクリート応力分布 (前面7°レ-ト case.7) f-7



Y  
X

図 5.3.3.9 コンクリート応力分布 (前面7°レ-ト case.8) f-8

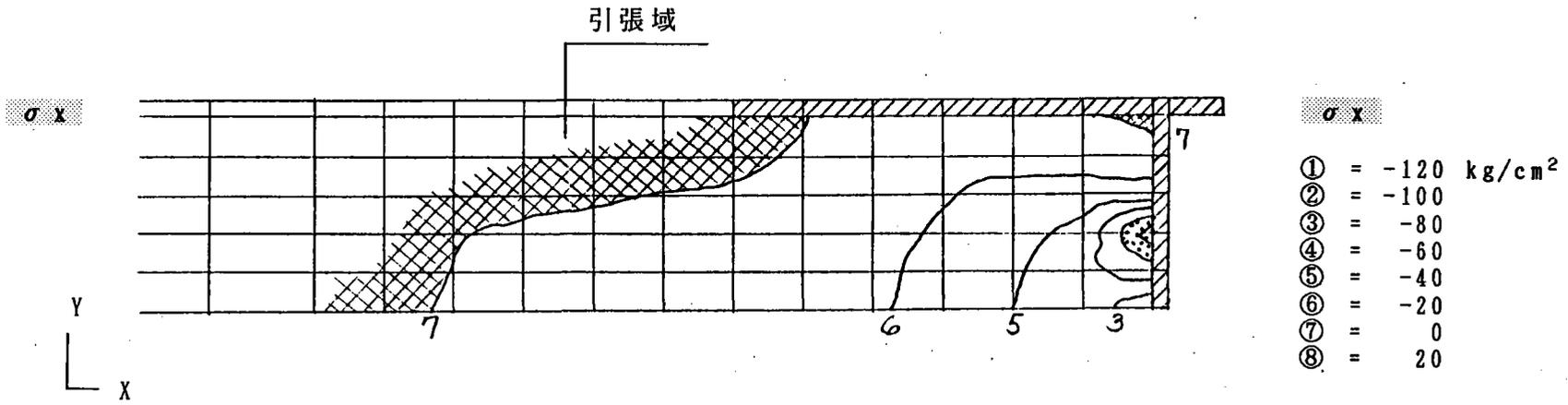


図 5.3.3.10 コンクリート応力分布 (後面プレート case.1) b-1

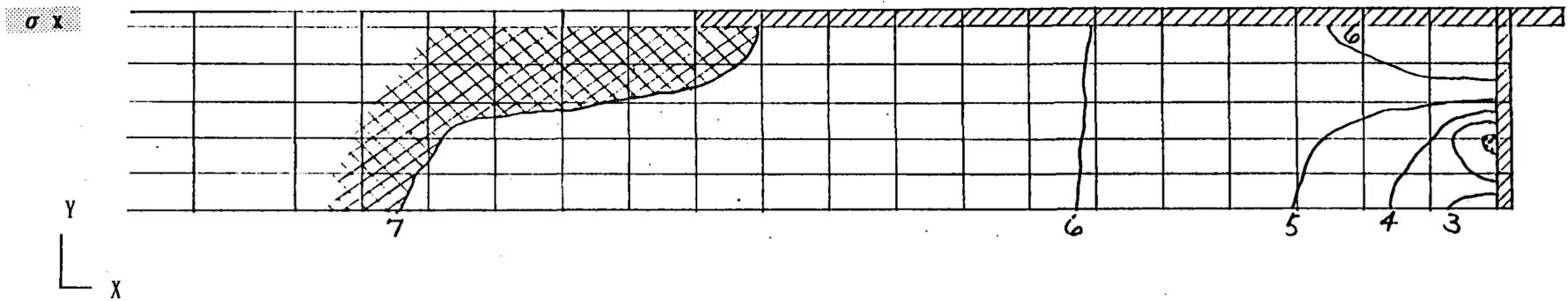


図 5.3.3.11 コンクリート応力分布 (後面プレート case.2) b-2

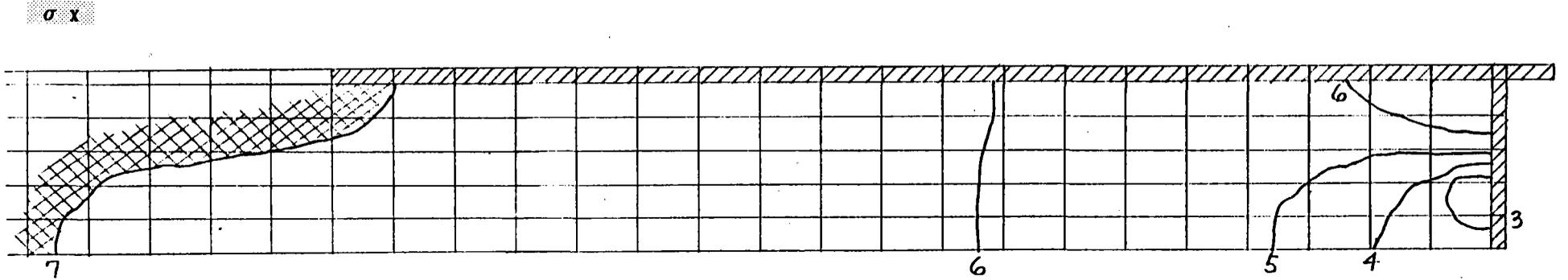


図 5.3.3.12 コンクリート応力分布 (後面プレート case.3) b-3

σx

①	=	-120	kg/cm <sup>2</sup>
②	=	-100	
③	=	-80	
④	=	-60	
⑤	=	-40	
⑥	=	-20	
⑦	=	0	
⑧	=	20	

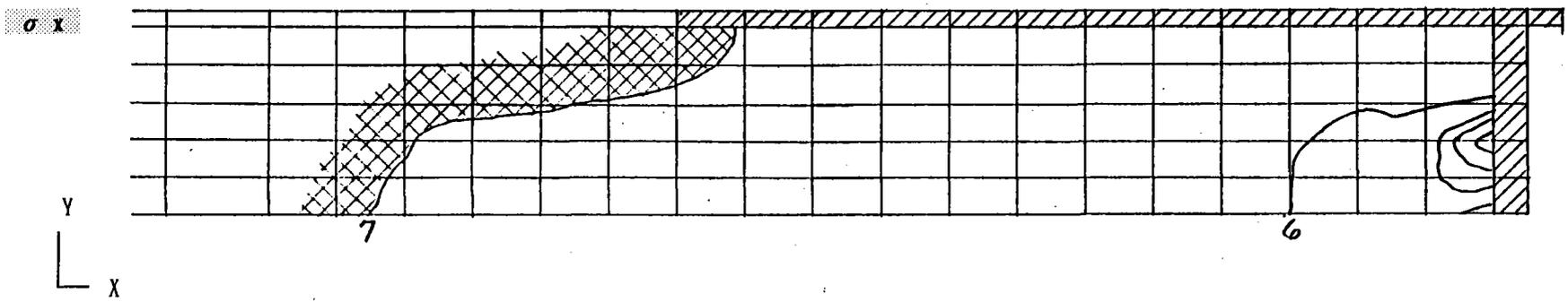


図 5.3.3.13 コンクリート応力分布 (後面ﾌﾞﾚｰﾄ case. 5) b - 5

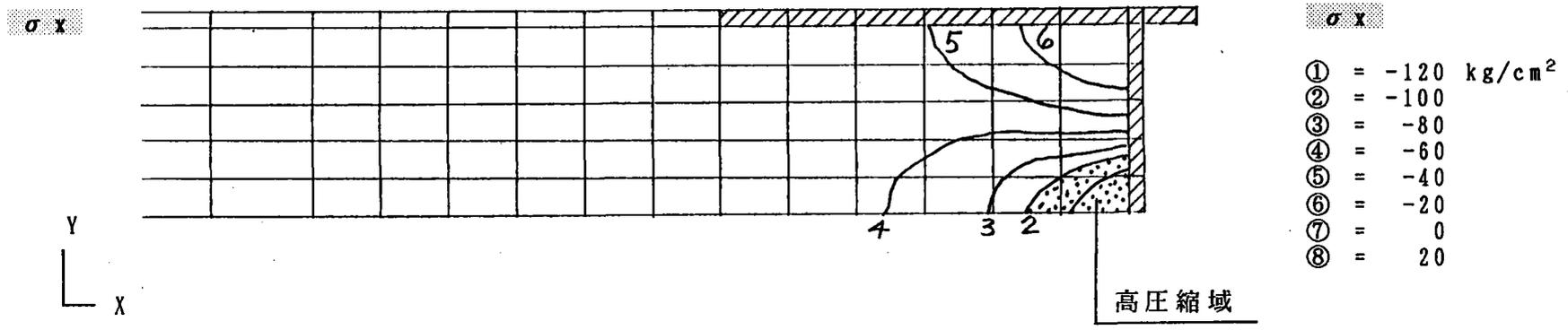
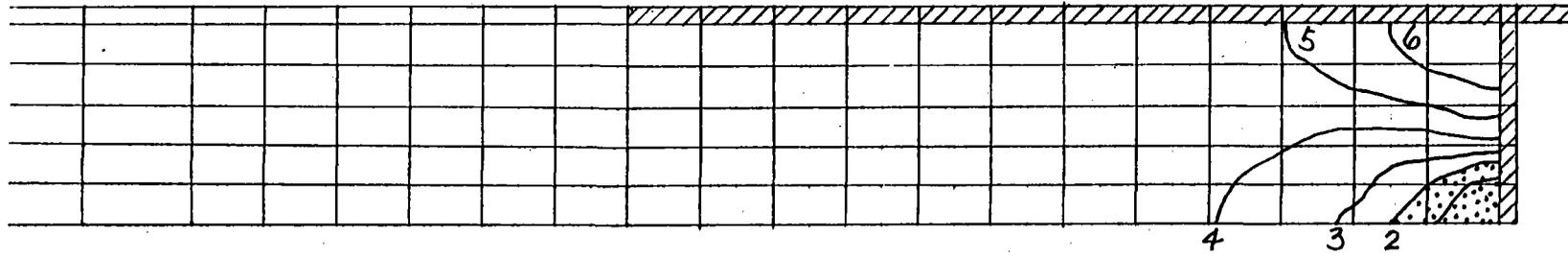


図 5.3.3.14 コンクリート応力分布 (後面ﾌﾞﾚｰﾄ case. 6) b - 6

$\sigma_x$



Y  
└── X

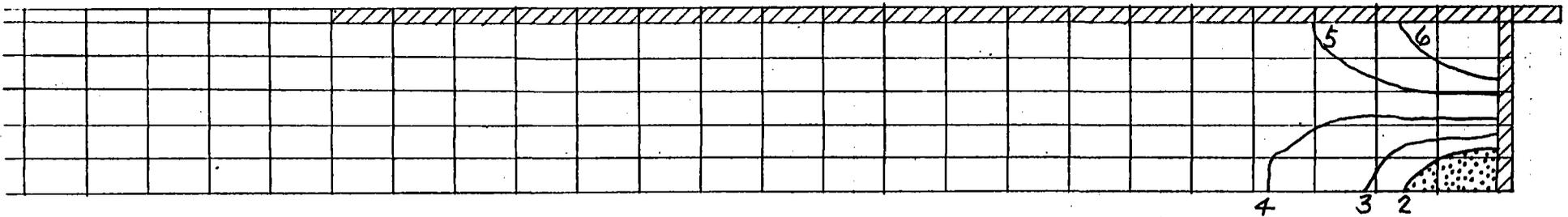
図 5.3.3.15 コンクリート応力分布 (後面7°v-ト case.7)

b - 7

$\sigma_x$

- ① = -120 kg/cm<sup>2</sup>
- ② = -100
- ③ = -80
- ④ = -60
- ⑤ = -40
- ⑥ = -20
- ⑦ = 0
- ⑧ = 20

$\sigma_x$



Y  
└── X

図 5.3.3.16 コンクリート応力分布 (後面7°v-ト case.8)

b - 8

### ＜スタッドのせん断力＞

スタッドに作用するせん断力と伝達する力の分担率を表 5.3.3.2にまとめている。継手長の変化による分担率を比較すると図 5.3.3.17～18の様になる。前面プレートの場合、継手長が長くなるとスタッドの分担率が増加するのに対して、後面プレートでは余り変化しない。後面プレートの場合、プレートの剛性によって引張力を伝達する割合が決定され、その後のスタッドの本数には余り関係がないと考えられる。一方プレストレスがある場合は、プレートとコンクリートの間で引張力の伝達が有効になされるので、スタッドの分担率がかなり低下している。

次にスタッドのせん断力を図 5.3.3.19～22に示す。各ケースの分布は圧縮を伝達する継手の場合と同様に三角形分布になっている。ただし、圧縮の場合と異なり、前面、後面プレート共、鋼部材側の端部で最も大きいせん断力が作用している。これは引張を受ける場合、前面、後面にかかわらず、鋼部材側の端部に定着されるPC鋼棒との間で力を伝達しているためと考えられる。

前面プレートと後面プレートを比較すると、前面プレートの場合、継手長が長くなるとスタッドのせん断力の平均値は比較的变化しないのに、最大値は大きくなっていく。しかし後面プレートの場合、逆に平均値も最大値も小さくなる。(図 5.3.3.19)

プレート厚による違いは、コンクリートの応力分布に関しても述べたように、前面プレートの場合にはほとんど変化しないが、後面プレートの場合にはプレート厚の増加に従ってスタッドのせん断力が小さくなる事がわかる。(図 5.3.3.20)

プレストレスが導入されると、継手長の差によって存在した分布の差が小さくなる傾向がある。また、最大せん断力付近の分布曲線勾配がなだらかになっており、継手長が長くなっても最大値は一定になる様に思われる。このためプレストレスがある場合はコンクリートの応力集中にも余り差が生じなかったものと考えられる。後面プレートの場合、継手長が長くなるとプレストレスにより、作用引張力と反対方向のせん断力の生じる領域が現われてくる。(図 5.3.3.21～22)

表 5.3.3.2 スタッドのせん断力

(ton)

位 置		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ケース1	結果	3.485	6.931	7.001	7.150	7.370	7.658	8.015	8.438	8.917	9.426
	1本	4.647	4.621	4.667	4.767	4.913	5.105	5.343	5.625	5.945	6.284
ケース2	結果		1.118	1.765	2.314	2.839	3.377	3.943	4.541	5.164	5.789
	1本		0.745	1.177	1.543	1.893	2.251	2.629	3.027	3.443	3.859
ケース3	結果		0.933	1.555	2.103	2.636	3.185	3.761	4.367	4.998	5.628
	1本		0.622	1.037	1.402	1.757	2.123	2.507	2.911	3.332	3.752
ケース4	結果		1.726	2.704	3.490	4.135	4.652	2.588			
	1本		1.151	1.803	2.327	2.757	3.101	3.451			
ケース5	結果		0.665	1.049	1.376	1.686	2.005	2.339	2.696	3.079	3.489
	1本		0.443	0.699	0.917	1.124	1.337	1.559	1.797	2.053	2.326
ケース6	結果		0.132	0.320	0.553	0.806	1.074	1.352	1.639	1.923	2.177
	1本		0.088	0.213	0.369	0.537	0.716	0.901	1.093	1.282	1.451
ケース7	結果		0.161	0.362	0.596	0.848	1.113	1.389	1.674	1.957	2.209
	1本		0.107	0.241	0.397	0.565	0.742	0.926	1.116	1.305	1.473
位 置		11	12	13	14	15	16	17	18	19	
ケース1	結果	9.907	10.311	5.393							
	1本	6.605	6.874	7.191							
ケース2	結果	6.360	6.834	3.670							
	1本	4.240	4.556	4.893							
ケース3	結果	6.203	6.680	3.593							
	1本	4.135	4.453	4.791							
ケース4	結果										
ケース5	結果	3.933	4.412	4.931	5.489	6.078	6.675	7.224	7.681	4.089	
	1本	2.622	2.941	3.287	3.659	4.052	4.450	4.816	5.121	5.452	
ケース6	結果	2.350	2.424	1.249							
	1本	1.567	1.616	1.665							
ケース7	結果	2.382	2.455	1.264							
	1本	1.588	1.637	1.685							

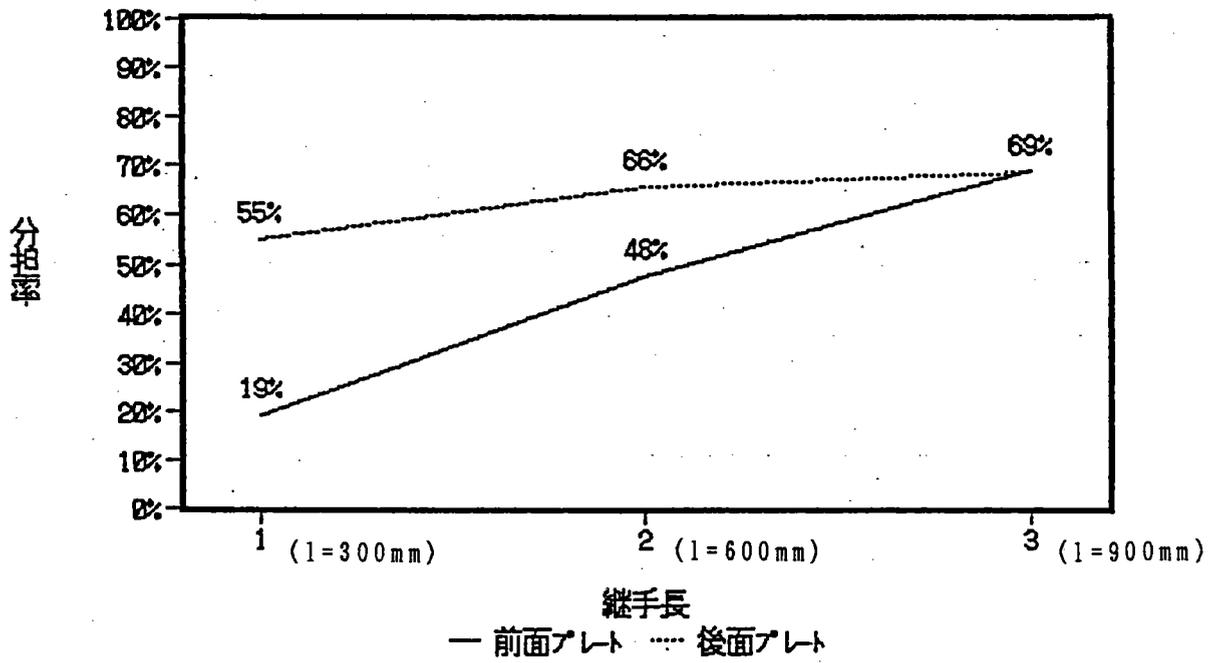


図 5.3.3.17 スタッド分担率の変化 (プレストレスなし)

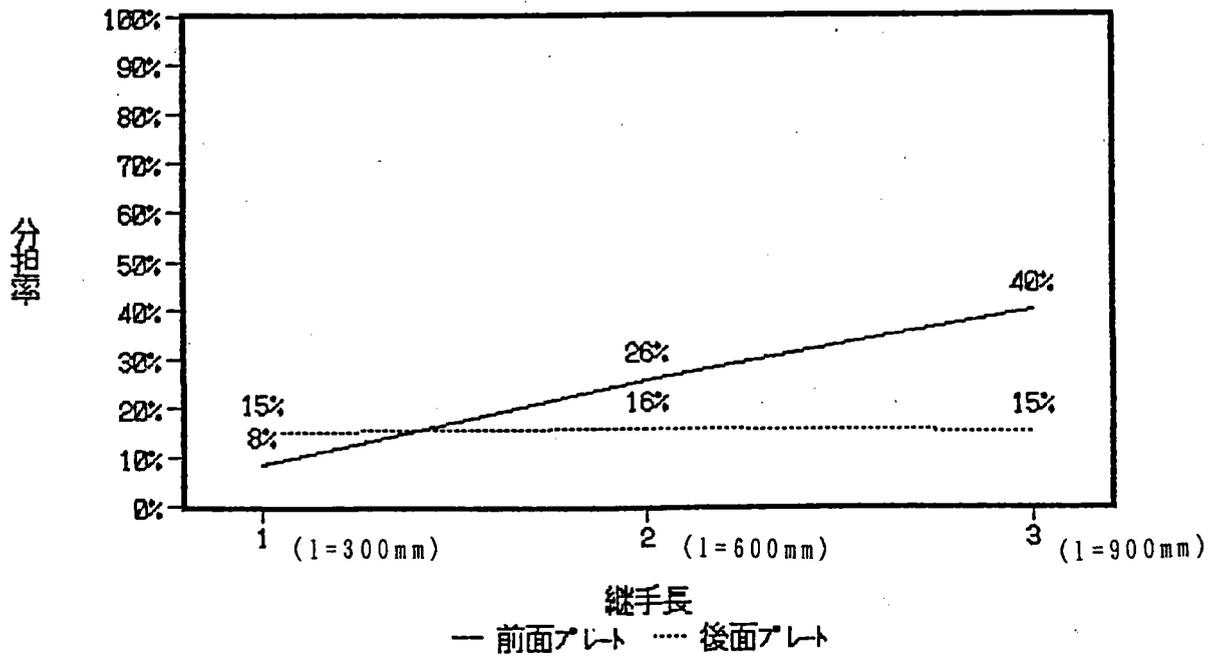


図 5.3.3.18 スタッド分担率の変化 (プレストレスあり)

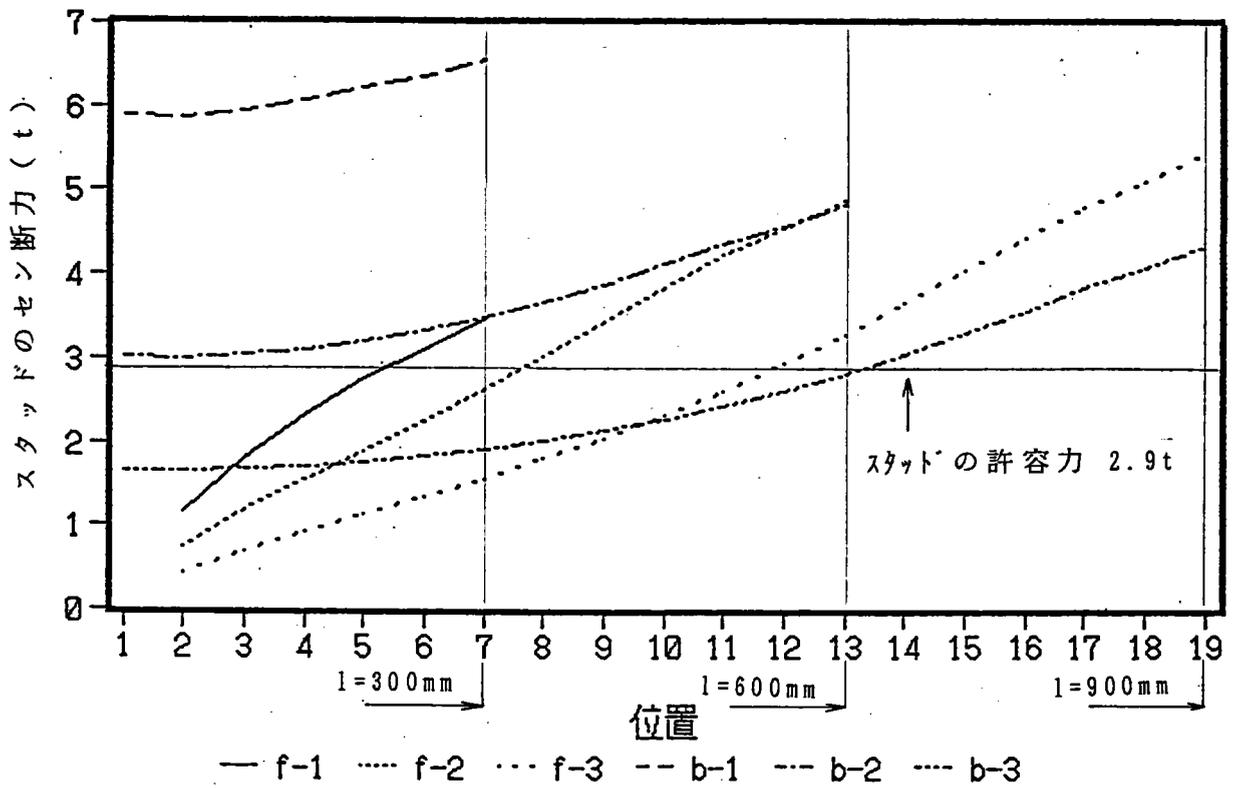


図 5.3.3.19 スタッド力の分布 (前面、後面の比較)

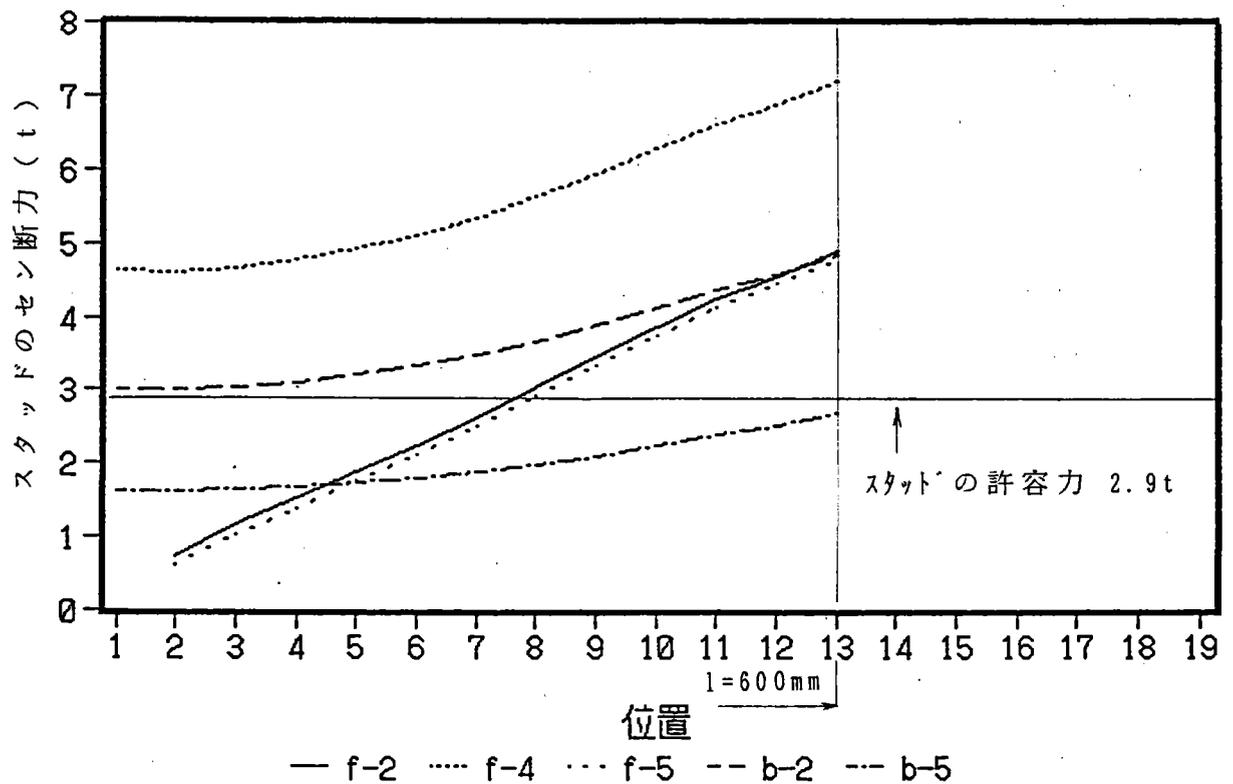


図 5.3.3.20 スタッド力の分布 (プレート厚による比較)

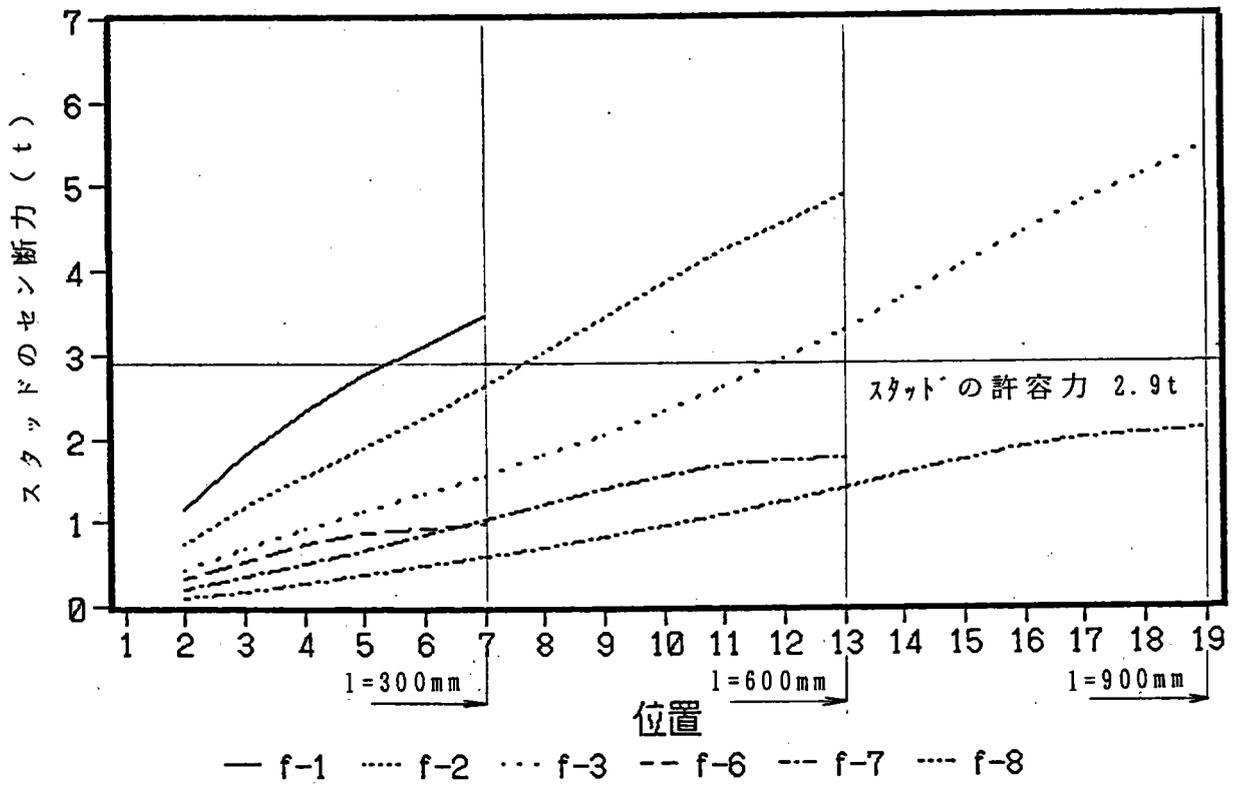


図 5.3.3.21 スタッド力の分布 (前面、フレストレスによる比較)

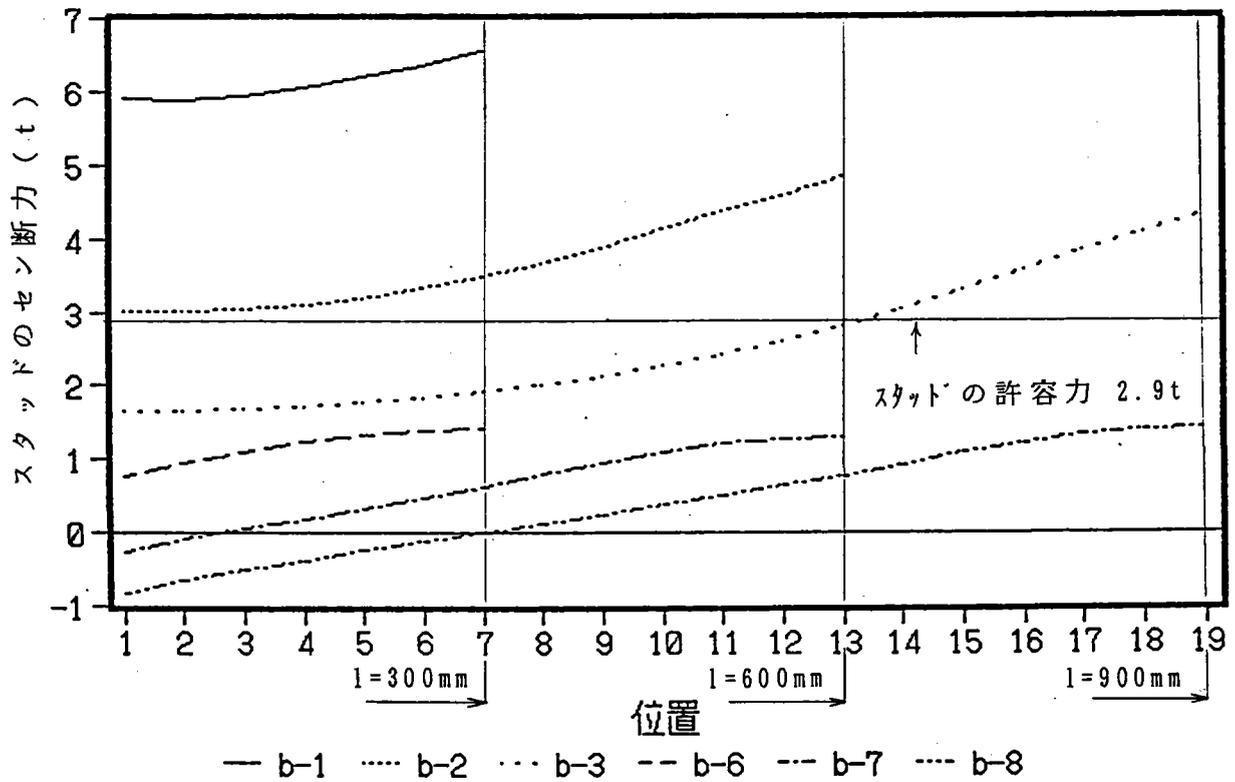


図 5.3.3.22 スタッド力の分布 (後面、フレストレスによる比較)

5.4 解析例のまとめ

5.4.1 継手タイプの特徴

5.1 から5.3 で解析した結果から、今後の継手タイプの選択における参考になるような、継手タイプごとの特徴を以下にまとめる。

表5.4.1 に継手タイプと、分担率やジベルの最大せん断力の比較を示す。この表も利用して、個々の継手タイプの特徴を記述する。

表5.4.1 継手タイプによる、分担率とジベルの最大せん断力の比較

継手タイプ	伝達力の種類	分担率 (%)				プレートの分担率の変化 3d/1d	ジベルの最大せん断力 TON/本		
		ジベル 2d	プレート (前面、後面)				1d	2d	3d
			1d	2d	3d				
ジベルのみ	圧縮	100	0	0	0	-		6.7	
	引張り								
前面プレート	圧縮	29	89	71	56	56/89=0.63	2.3	3.3	3.7
	引張り	48	81	52	31	31/81=0.38	3.5	4.9	5.5
後面プレート	圧縮	24	89	76	67	67/89=0.75	1.9	2.3	2.4
	引張り	66	45	34	31	31/45=0.69	6.6	4.8	4.3

1d、2d、3d : 継手長さ

### (1) ジベルのみの継手

ジベルのみの継手構造は、プレートのある継手で見られるような、コンクリートの応力集中が解析モデルの関係であらわれていない。しかし、ジベル一本に働くせん断力は、表5.4.1で示すように、プレートのある継手に比べて大きくなることから、ジベルのつけ根付近では、応力集中が発生しているものと思われる。継手に大きな軸力が働く場合には、ジベルの太さと最少ピッチから限界が出てくるものと思われる。

ジベルに働くせん断力は、継手部の両端で大きく、中央で小さくなる傾向をしめす。どのタイプの継手構造でもいえることだが、ジベルに働くせん断力は、均一ではない。ジベルのバネ定数を考慮した、解析が望まれる。

### (2) プレートのある継手

プレートのある継手の本解析例では、プレートの分担率が圧縮で60~90% 引張りで30~80% となっている。このことから、プレートが継手の軸力を伝達するに、かなり有効であることがわかる。

#### a) 前面プレートがある継手

前面プレートがある継手の圧縮力の伝達については、表5.4.1に示すように、後面プレートのある継手に比べプレートの分担率が少し小さい。引張力の伝達では、後面プレートのある継手に比べプレートの分担率が、かなり大きくなっている。

ジベルのある継手部を長くすると、後面プレートのある継手に比べ、ジベルが分担する割合がかなり大きくなる。このことは、圧縮と引張りで同様な結果となっている。すなわち、前面プレートがある継手は、プレートの分担率を、ジベル継手部の長さで、変化出来る特徴がある。

ジベルのある継手部を長くすると、ジベル一本当りのせん断力が増加する。この傾向は圧縮よりも引張りの方が大きい。

前面プレートと側面プレートとの隅角部では、コンクリートの応力集中が、発生している。本解析モデルの形状では、図5.4.1に示すような、コンクリートの欠落ちが心配される。対策として、コンクリートの接触面を広げる(図5.4.2)、側面プレートを前面プレートの前まで伸ばし、コンクリートの側方を拘束する(図5.4.3)などがある。

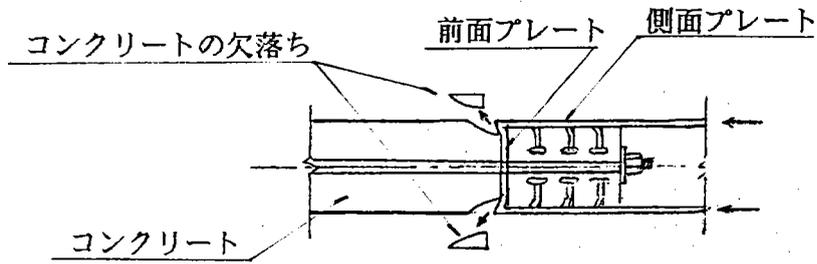


図5.4.1 応力集中によるコンクリートの欠落ち

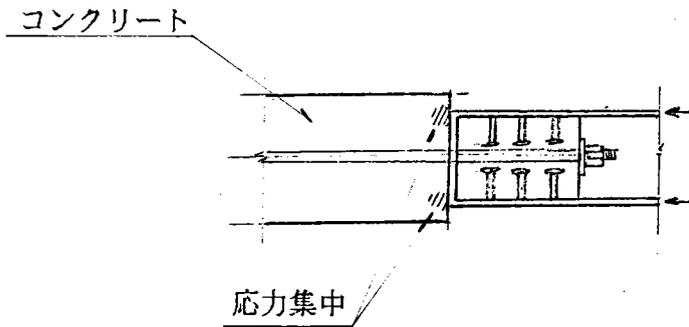


図5.4.2 コンクリートの接触面を広げる案

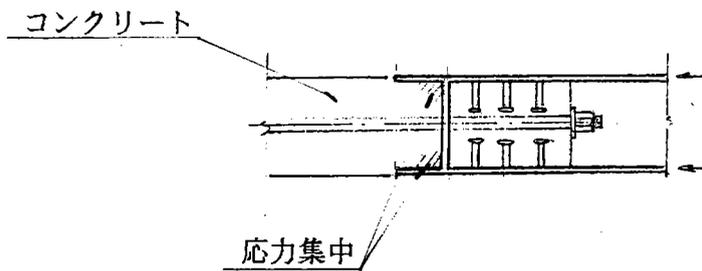


図5.4.3 コンクリートの側方を拘束する案

b) 後面プレートがある継手

後面プレートがある継手の圧縮力の伝達については、表 5.4.1で示すように、前面プレートのある継手に比べ、プレートの分担率がすこし大きくなっている。しかし、引張力の伝達については、前面プレートのある継手に比べ、かなり小さくなっている。

ジベルのある継手部を長くしても、前面プレートに比べ、ジベルが分担する割合の増加はすくない。

ジベルのある継手を長くすると、ジベル1本当りのせん断力が、圧縮では増加し引張りでは減少する。

後面プレートと側面プレートとの隅角部で、コンクリートの応力集中が、圧縮で発生しているが、引張りでは発生していない。圧縮でのコンクリートの応力集中は、側面が拘束してあるため、前面プレートで心配されるコンクリートの欠落ちにつながりにくい。

5.4.2 継手部の要求と適した継手タイプ

以上の検討から、本解析例のうちで継手部の要求と適した継手タイプの組合わせを、表 5.4.2に示した。

表 5.4.2 継手部の要求と適した継手タイプ

継手部の応力 設計の要求		○ : 適した構造 / 対策		
		ジベルのみ	前面プレート	後面プレート
圧縮	伝達力が小さい場合	○	○	○
	伝達力が大きい場合		○	○
引張り	伝達力が小さい場合	○	○	○
	伝達力が大きい場合		○	△
プレートとジベルで力を分散したい場合			ジベルのある継手部を長くする。	同左
ジベルの応力を小さくしたい場合			ジベルのある継手部を短くする。	ジベルのある継手部を圧縮で短く引張りで長くする。

### 5.4.3 解析例のおわりに

今回の解析は、設定した構造のモデル化で、種々の仮定を設けており、また計算ケースも少ない。得られた検討結果の一般性については、まだ多くの検討を要すると考えられる。今回の解析で使用したモデル化で、今後詳細な検討が必要と考えられる課題として以下の項目がある。

- (1) スタッドジベルのモデル化およびバネ定数の評価
- (2) 継手内コンクリートにおける側方拘束の効果
- (3) コンクリート材料のモデル化
- (4) プレストレスのモデル化

以上、今回の検討は一試算例ではあるが、今後の複合構造の継手の検討に参考となれば幸いである。