

## 第4章 簡易的な橋脚基部構造の検討

### 4.1 はじめに

#### 4.1.1 検討対象

鋼構造におけるコンクリートの有効利用を基本コンセプトに、「鋼製橋脚のコンクリートフーチングへの固定方法」についてワーキンググループ（WG）を設け検討を行った。従来の固定方法は、吊橋におけるタワーの例を挙げるまでもなく、構造上明確とはいえないアンカーフレームが用いられている。当WGでは、以下に示すような要請に対し検討することとした。

1. 荷重分担を無視して用いられたコンクリートに荷重の一部でも分担させること

2. 鋼橋脚からフーチングへの力の伝達機構が明確であること

3. 施工が容易であり、経済的であること

4. 対象とする鋼橋脚は、適用範囲がなるべく広い都市内の中小規模とすること

本報告書は、当WGの検討成果を示すものであり、鋼橋脚とコンクリートフーチングの固定方法を検討するうえでの一資料として、文献や実施事例より基部構造を分類し、新しい構造イメージとしての簡易的な橋脚基部構造を提案するものである。

#### 4.1.2 ワーキンググループ活動の経緯

ワーキンググループ（WG）では、まず、各委員の問題意識を共有するために、鋼製橋脚の固定方法（定着構造）に関する事例の収集と文献調査を行い課題を整理した。その際、名古屋高速道路公社（名公社）と名古屋工業大学（名工大）で共同開発し施工中の極太アンカーボルトを用いて直接コンクリートフーチングに定着する（名公社方式）事例に関して、極太アンカーボルトの製造メーカーの方から話題提供していただき、設計および施工的な知見を得ることができた。この段階では名公社方式による定着が構造的、経済的に優れているというWG各委員の共通認識を得た。

次に、調査した事例を基に設計・製作・輸送・架設面などの技術的特色を整理し、特に、経済性については実施例（3物件）を対象にWG内で試設計を行い従来方式と名公社方式との比較を行った。併せて、名公社方式に対する課題を抽出し改善策が提案された。

その後、名公社方式に替わる直接定着方式の新しい構造アイデアが議論され、それを実用化するための作業フローチャートを作成した。議論の末、新しい定着方式は孔明き鋼板を利用した構造がWG内で採用され、事前に作成した作業フローチャートに沿って簡易モデルによる性能確認の実験を試みた。この結果、実用化に向け実証すべき種々の課題は残っているが、コスト縮減や省力化を行う上では有効な基部構造と考えられた。

次頁の図-4.1.1にWG活動の流れをフローチャートで示した。

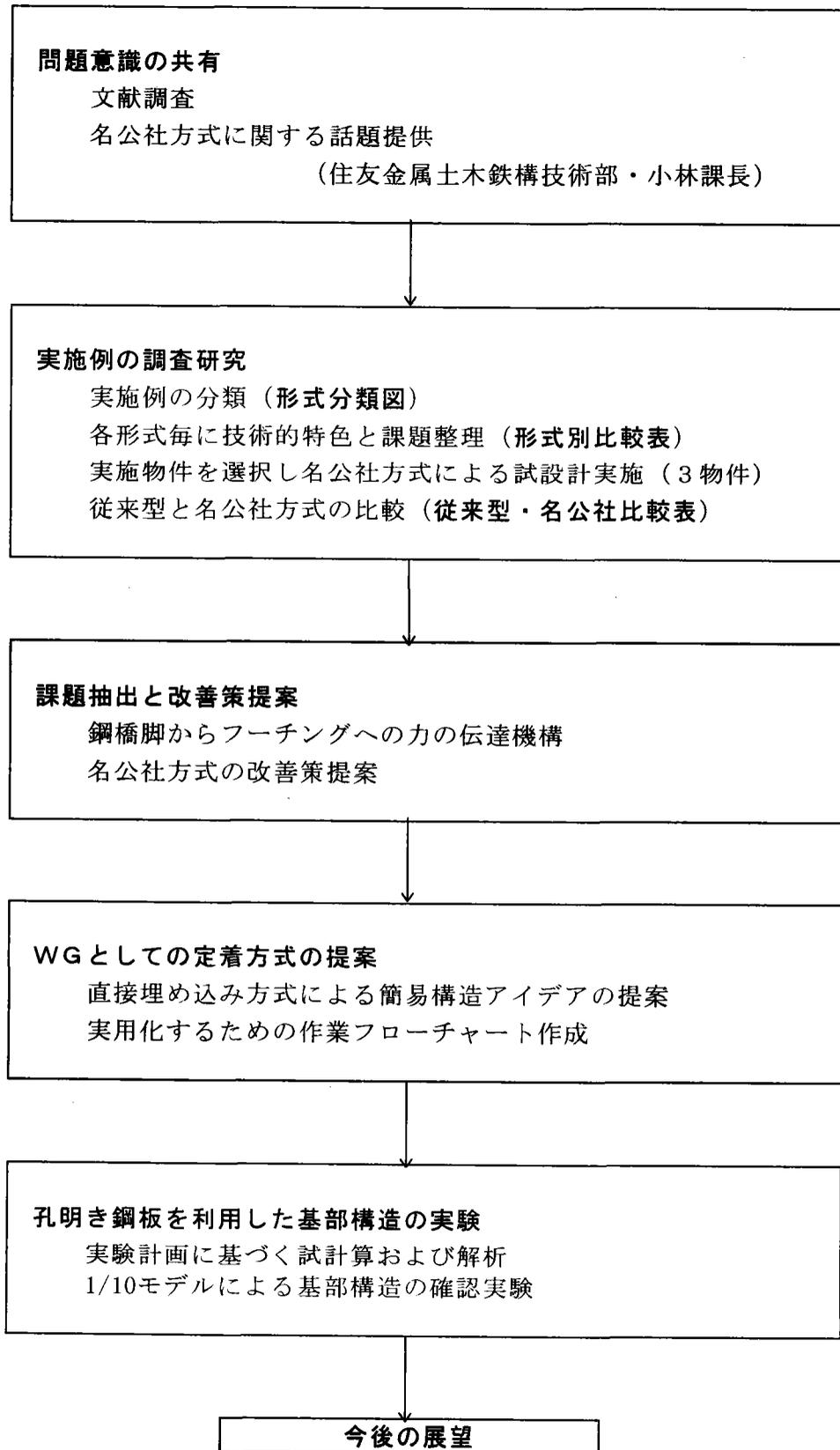


図-4.1.1 WG活動の流れ



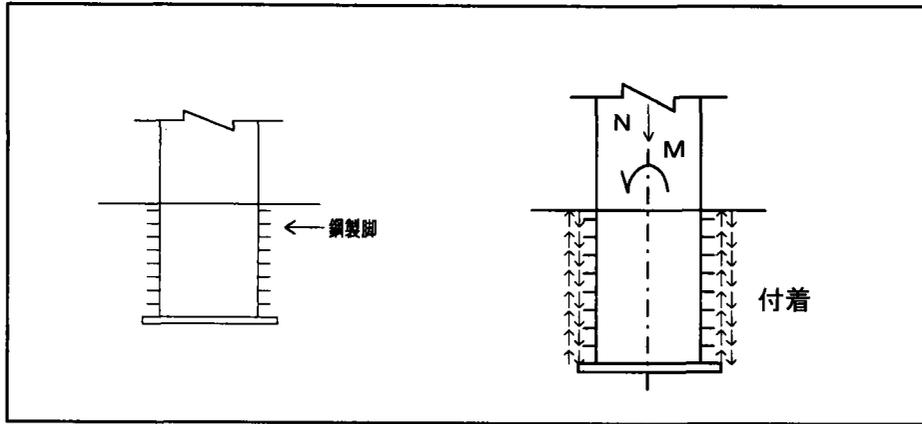


図-4.2.3 形式分類図 (タイプ-2)

(3) タイプ-3 : アンカーフレーム (従来型) 方式

橋脚からの圧縮力および引張力を直接アンカーフレームの押抜き引抜き力としてコンクリートに伝達させる方式である。この際、アンカーボルトとコンクリートの付着力を考慮しないものとして設計している。

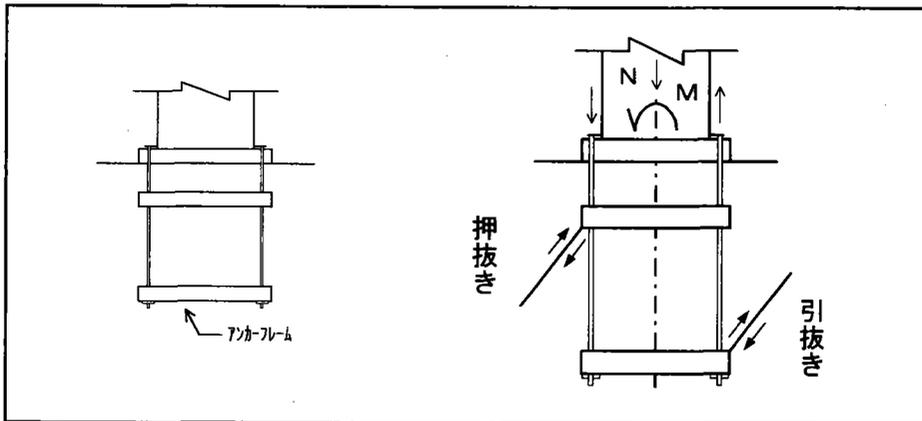


図-4.2.4 形式分類図 (タイプ-3)

(4) タイプ-4 : 直接定着 (名公社) 方式

橋脚からの圧縮力および引張力を直接アンカーボルトの付着およびスタッドのせん断抵抗によりコンクリートに伝達させる方式である。

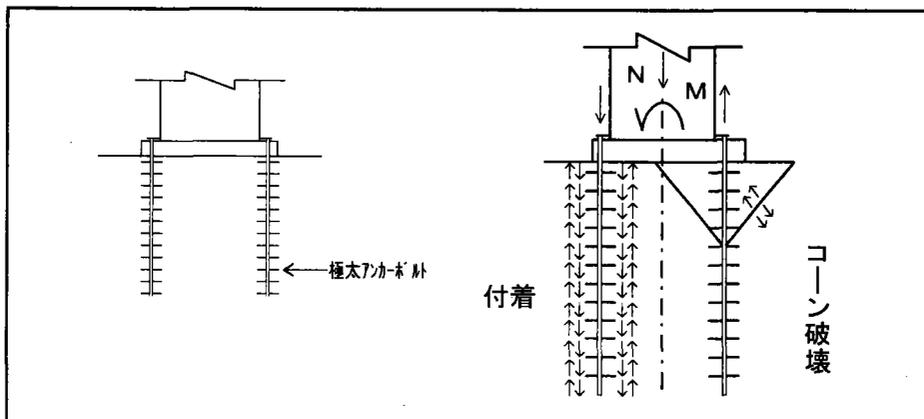


図-4.2.5 形式分類図 (タイプ-4)

#### 4.2.2 事例調査

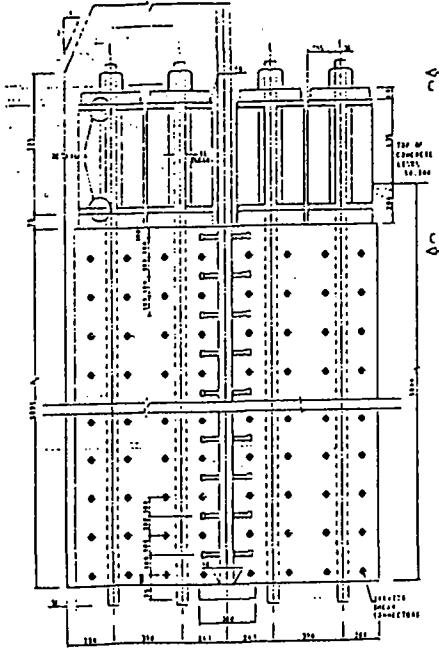
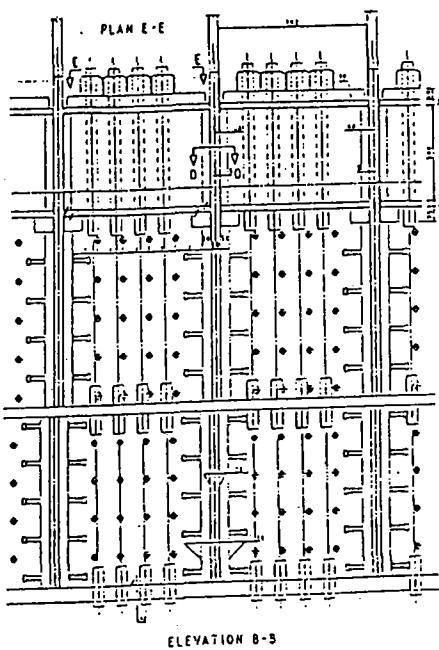
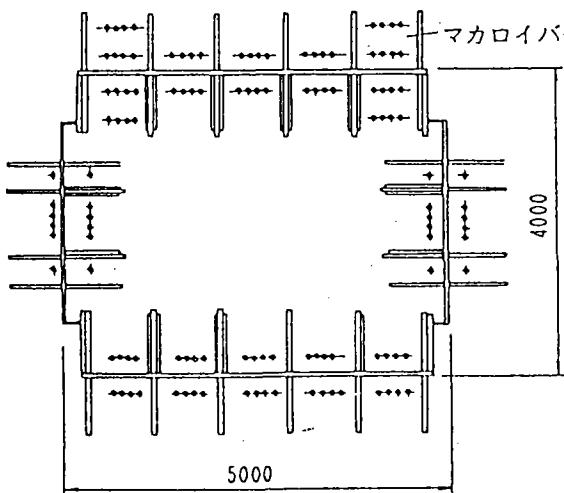
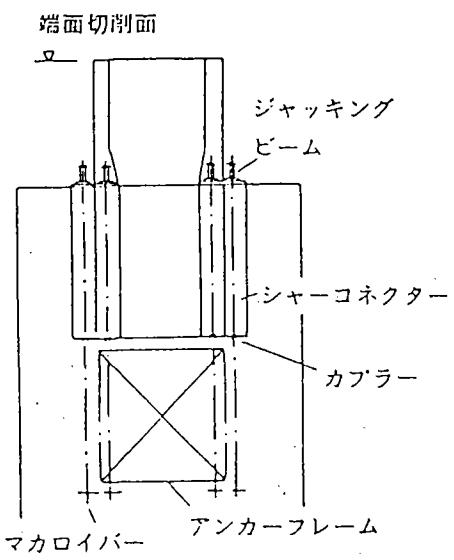
事例調査は収集した文献および資料を整理し、まず、定着構造の各形式毎に施工済みの1事例を挙げ、実績データとして施工場所、アンカーボルト等の諸元、鋼重について示した(表-4.2.7~表-4.2.9)。ただし、タイプ-2については、実施例が収集できず掲載していない。次に、実施例をもとに、全4タイプの特色と課題を一覧表に整理した(表-4.2.6)。

引用した文献等については、4.6項を参照されたい。

表-4.2.6 形式別比較表

	タイプ-1 鋼製脚一部埋込みアンカーボルト方式	タイプ-2 鋼製脚直接埋込み方式	タイプ-3 アンカーフレーム方式	タイプ-4 直接定着(名公社)方式
概略模式図				
力の伝達機構・設計方法	<p>脚柱からの圧縮引張力を脚に取り付けたスタッドのせん断抵抗とアンカーボルトの付着によりコンクリートに伝達させる。</p>	<p>脚柱からの圧縮引張力を脚に取り付けたスタッドのせん断抵抗によりコンクリートに伝達させる。</p>	<p>脚柱からの圧縮引張力を直接アンカーフレームの押抜き引抜き力としてコンクリートに伝達させる(アンカーボルトとコンクリートの付着力を考えないものとして設計する。)</p>	<p>脚柱からの圧縮引張力を直接アンカーボルトの付着およびスタッドのせん断抵抗によりコンクリートに伝達させる。</p>
特色	タイプ2に比べて重量の軽減が可能であるが、応力の伝達機構が複雑である。	実際の伝達機構が明確で、モデル化しやすい。	最も一般的な定着方式であり、施工実績も多い。	名公社と名工大とで共同開発した定着方式であり、比較タイプ中で最も重量軽減が可能である。また、実際の伝達機構が明確でモデル化しやすい。
課題	アンカーボルトの効果 ・スタッドとアンカーボルトの分担化。 ・押抜き力に対しては、コンクリート中の脚ベースプレートの支圧力で抵抗するのではないかな。	鋼製脚の埋込み長 ・スタッドの本数及びピッチは実用的か。 ・大きな曲げモーメントが作用する場合、埋込み長及び重量が増大しないか。	杭方式とRC方式がある。 ・アンカー部材の座屈を考慮。実際はコンクリート中なので変形しないのではないかな。 ・杭方式においても押抜き力に対し脚ベースプレートの支圧力で抵抗するのではないかな。	架設治具の簡素化 ・アンカーボルト架設用の治具が必要になる。

表-4.2.7 実施例 (タイプ-1)

タイプ-1		鋼製脚の一部埋込み+アンカーボルト方式			
構造概要図：(第2ボスボラス橋)					
					
					
実績データ					
No.	施工場所	アンカーボルト諸元	スタッド諸元	設計埋込長	備考
1	トルコ共和国 第2ボスボラス橋	50 φ × 4,900' × 200 本	22 φ × 100' × 3122 本 (SM50Y)	5,000' (鋼殻部)	

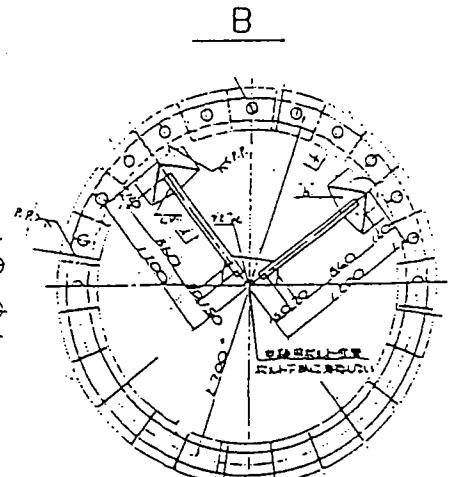
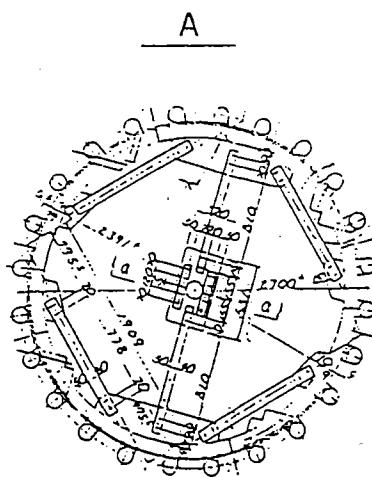
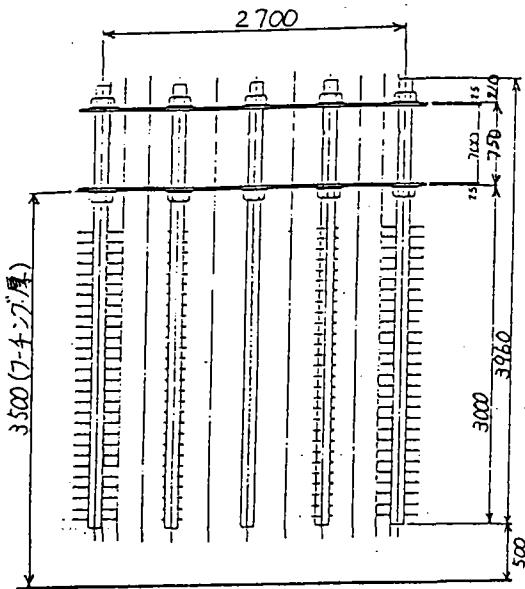
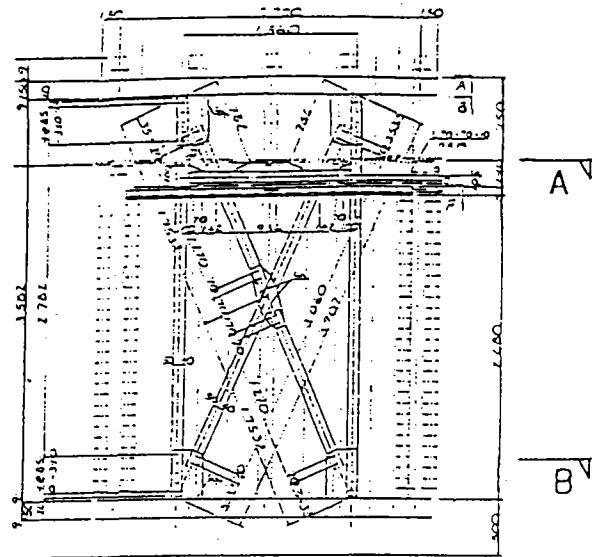
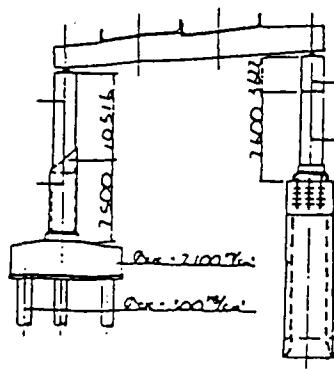
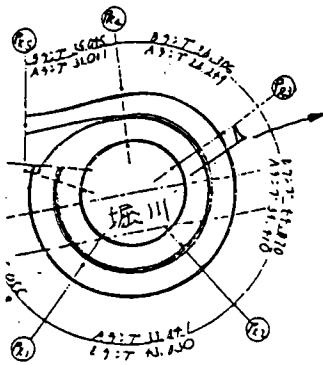


タイプ-4

直接定着 (名公社) 方式

構造概要図: (黒川ランプ PR3)

アンカーボルト固定治具



実績データ

No.	施工場所	アンカーボルト諸元	スット諸元	設計埋込長	備考
1	市道高速分岐2号 明道工区 P2脚部	120 <sup>φ</sup> × 3075 <sup>l</sup> × 4 <sup>φ</sup> (SM53相当)	19 <sup>φ</sup> × 130 <sup>l</sup> × 152 <sup>φ</sup> (SS400) スット38本/AB1本		最初の施工例
2	市道高速2号 黒川ランプ PR3 (R) 脚部	120 <sup>φ</sup> × 4000 <sup>l</sup> × 24 <sup>φ</sup> (SM53相当)	19 <sup>φ</sup> × 130 <sup>l</sup> × 1344 <sup>φ</sup> (SS400) スット56本/AB1本	3000 <sup>l</sup>	
3					

#### 4.2.3 従来型と名公社方式との比較

##### (1) 試設計

従来型アンカーフレーム方式で施工された2物件（モノレールP13橋脚、OM21工区）と名公社方式で施工された1物件（黒川ランプPR3R橋脚）の計3物件を取り上げ、従来型については名公社方式で、名公社方式については従来型で試設計を実施し、定着部の基本寸法と概算重量を算出した。なお、概算重量は、従来型についてはアンカーフレームおよびアンカーボルト等について計上し、名公社方式については固定用治具およびアンカーボルト等について計上した。また、参考のために概算工費を算出したが、共通の積算基準がないので工場製作費を試算し割合で示した。

従来型アンカーフレームの試設計は、「首都高速道路公団 上部工設計基準」に準拠した市販ソフトを用いて行った。名公社方式の試設計は対応する市販ソフトがなく、黒川ランプの設計計算事例を参考にしながら「名古屋高速道路公社 鋼製橋脚直接定着方式の設計指針（案）」に準拠して市販の表計算ソフトを用いて行った。

本稿で行った試設計の結果によれば、

- 1) アンカーボルトの基本寸法（ボルト径、長さ、本数）は、ボルト径を除けば同一寸法で対応できる。
- 2) 橋脚基部の平面寸法およびフーチング寸法は、同一寸法で対応できる。
- 3) 概算重量は名公社方式の方が軽量となり、試設計によれば、名公社／従来型=0.95～0.72と幅のある結果となったが、フーチング寸法等の制約がなければ従来型の約8割程度である。
- 4) 概算工費（工場製作費の割合）は名公社方式の方が経済的となり、名公社／従来型=0.74～0.55と幅のある結果となったが、フーチング寸法等の制約がなければ従来型の約7割程度である。

なお、試設計の結果は、表-4.2.11、表-4.2.12および表-4.2.13に一覧表で示した。

##### (2) 比較および総合評価

試設計の結果を踏まえ、以下の項目について各々比較を行った（表-4.2.10）。

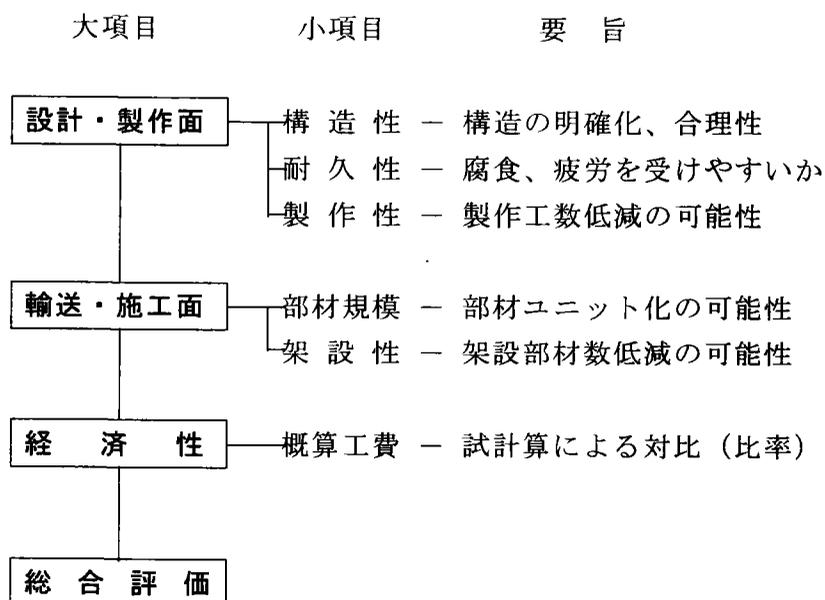


表-4.2.10 従来型・名公社比較表

		タイプ-3 アンカーフレーム（従来型）方式	タイプ-4 直接定着（名公社）方式
構造概要図			
設計概要		<ul style="list-style-type: none"> <li>設計方法は橋脚からの作用力をアンカービームの支圧力を介してフーチングに伝達するが、アンカーボルトとコンクリートとの付着は考慮しない。</li> <li>設計は『首都高速道路公団 上部工設計基準』による。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計方法は橋脚からの作用力をアンカーボルトの付着及びスタッドのせん断抵抗によってフーチングに伝達する。</li> <li>設計は『名古屋高速道路公社 鋼製橋脚直接定着方式の設計指針（案）』による。</li> </ul>
設計・製作面	構造性	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋脚基部定着構造は、アンカーボルト及びアンカービームより構成されるアンカーフレームをフーチングコンクリートに埋め込み、鋼製橋脚基部をアンカーボルトでねじ定着するアンカーフレーム方式である。</li> <li>アンカーボルト軸力が大きい場合、フーチング縁端距離が大きくなりフーチング平面寸法が制約を受ける場合に設計困難となる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋脚基部定着構造は、スタッド併用アンカーボルトをフーチングコンクリート中に埋め込み、鋼製橋脚基部をアンカーボルトでねじ定着する直接定着方式である。</li> <li>アンカーボルト軸力が大きい場合、アンカーボルト埋め込み長を長くすることで対応できるため、フーチング平面寸法が制約を受ける場合に有利である。</li> </ul>
	耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>実績が多く問題とならない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実績は少ないが、特に問題とならない。</li> </ul>
	製作性	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の大型化に伴い、アンカービームの厚板・高材質化となる。また、溶接量が増加し製作工費がアップする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スタッドの溶接性、変形は問題ない。スタッド溶接時には熱影響部の硬化の面から予熱（100℃）が必要となる。</li> <li>アンカーボルトは現在D120のみであるが、材質は溶接性の良いSM490Aを採用しており溶接性に問題ない。</li> </ul>
輸送・施工面	部材規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>アンカーボルトおよびアンカーフレームを一体組として輸送する場合、大型のものは制約を受ける。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アンカービームを省略でき小型化、軽量化が計れるため、輸送・架設重機の小型化が可能となる。</li> </ul>
	架設性	<ul style="list-style-type: none"> <li>アンカーボルトの固定及び鉛直度の確保にテンプレート等の架設用治具を使用するが小部材で可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アンカーボルトの位置を固定し、鉛直度を確保するために架設用治具が必要である。架設用治具が大きくなりタイプ-3のアンカーフレームと同じぐらいになることもある。</li> <li>架設工期は施工条件により異なる。</li> <li>タイプ-3に比べて重量が軽く取り扱いやすい反面、コンクリート打設時のずれ防止に注意が必要である。</li> </ul>
経済性		概算工場製作費割合 1.00	概算工場製作費割合 0.70
総合評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>アンカーフレームには厚板や高材質の鋼材が使用され、工場製作費は、タイプ-4に劣る。</li> <li>橋脚が大規模となる場合、フーチング平面形状が大きくなりまたアンカーフレームの輸送・架設面でもタイプ-4に劣る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>タイプ-3に比べて小型化、軽量化が図れるため製作・輸送面で省力化できる。</li> <li>アンカーボルトの設計だけでよいため設計法はタイプ-3に比べて簡便である。</li> <li>架設用治具に検討の余地がある。</li> <li>工場製作費割合は、概ねタイプ-3:タイプ-4=1:0.7となり経済性に優れる。</li> </ul>

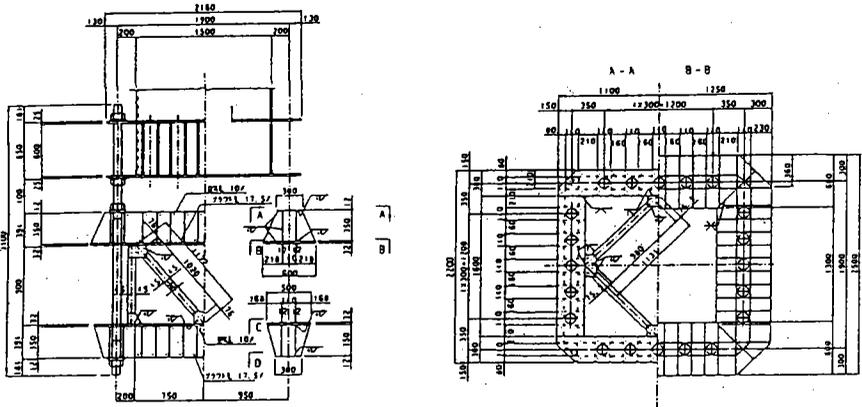
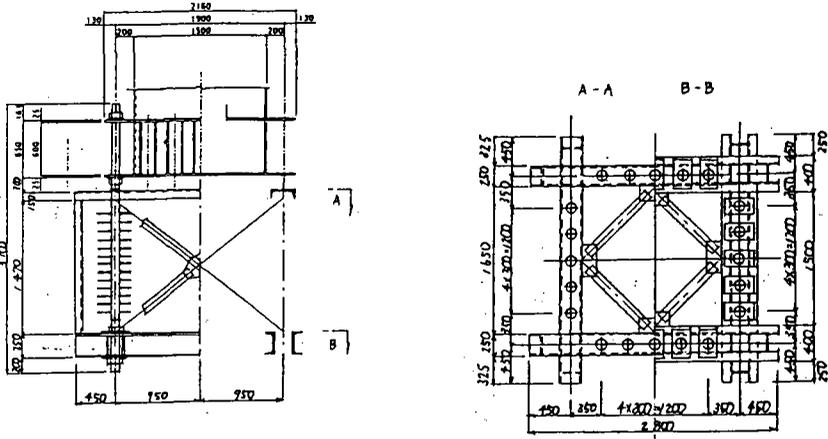
表-4.2.11 試設計（その1）比較表

●モノレールP13橋脚

	タイプ-3 アンカーフレーム（従来型）方式	試設計 タイプ-4 直接定着（名公社）方式																				
構造概要図																						
	橋脚断面；1.2m φ、フーチング寸法；3.0m φ×2.8m（直径×高さ）	橋脚断面；同左、フーチング寸法；同左																				
設計・施工	<p>〔設計〕</p> <p>①アンカーボルト；ボルト径 100 φ (SS400), ボルト本数 16 本</p> <p>②アンカーフレーム；上側フレーム 1-UFLG 300×10、2-WEB 308×16、1-LFLG 300×32 (SM400)</p> <p>下側 " 1-UFLG 300×32、2-WEB 308×16、1-LFLG 300×10 ( " )</p> <p>〔施工〕</p> <p>①中規模であり製作・輸送・架設に特に問題はない。</p>	<p>〔設計〕</p> <p>①アンカーボルト；ボルト径 120 φ (SM400), ボルト本数 16 本 スタッド D19 φ×130@ 95</p> <p>②定着長等；設計埋め込み長=72.3+24.0=96.3cm、9d+24.0=132cm</p> <p>③コンクリート強度；<math>\sigma_{ck}=300 \text{ kgf/cm}^2</math>、見掛けの許容付着強度 <math>\tau_a=32 \text{ kgf/cm}^2</math></p> <p>④X=123.9cmの深さの範囲にコーン破壊強度 <math>\sigma_{coa}=12.7 \text{ kgf/cm}^2</math> となるように補強鉄筋 D25 (13本/m<sup>2</sup>) を使用する。</p> <p>〔施工〕</p> <p>①アンカーボルトの位置を固定し鉛直度を確保するため、固定用治具が必要である。固定用治具は非構造部材であるため、積算上仮設材として扱われる。</p> <p>②アンカーフレーム方式に比べて重量が軽く取り扱いやすい反面、コンクリート打設時のずれ防止に注意が必要である。</p>																				
経済性	<p>●概算重量</p> <table border="0"> <tr> <td>鋼板・型钢</td> <td>2.7</td> </tr> <tr> <td>アンカーボルト類</td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><hr/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>6.3 tf</td> </tr> </table> <p>●概算工費</p> <table border="0"> <tr> <td>工場製作費割合</td> <td>1.00</td> </tr> </table>	鋼板・型钢	2.7	アンカーボルト類	3.6	<hr/>			6.3 tf	工場製作費割合	1.00	<p>●概算重量</p> <table border="0"> <tr> <td>鋼板・型钢</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>アンカーボルト類</td> <td>4.9</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><hr/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>6.0 tf</td> </tr> </table> <p>●概算工費</p> <table border="0"> <tr> <td>工場製作費割合</td> <td>0.74</td> </tr> </table>	鋼板・型钢	1.1	アンカーボルト類	4.9	<hr/>			6.0 tf	工場製作費割合	0.74
鋼板・型钢	2.7																					
アンカーボルト類	3.6																					
<hr/>																						
	6.3 tf																					
工場製作費割合	1.00																					
鋼板・型钢	1.1																					
アンカーボルト類	4.9																					
<hr/>																						
	6.0 tf																					
工場製作費割合	0.74																					

表-4.2.12 試設計（その2）比較表

●OM21工区 P7橋脚

	タイプ-3 アンカーフレーム（従来型）方式	試設計 タイプ-4 直接定着（名公社）方式																				
構造概要図	 <p>橋脚断面；1.5m×1.5m、フーチング寸法；4.5m×9.0m×2.7m（橋軸直×橋軸×高さ）</p>	 <p>橋脚断面；同左、フーチング寸法；同左</p>																				
設計・施工	<p>〔設計〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①アンカーボルト；ボルト径 115 φ (S35CN), ボルト本数 20 本</li> <li>②アンカーフレーム；上側フレーム 1-UFLG 300×12、2-WEB 350×12、1-LFLG 600×32 (SM490Y)</li> <li>下側 " 1-UFLG 500×32、2-WEB 350×12、1-LFLG 300×12 ( " )</li> </ul> <p>〔施工〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①中規模であり製作・輸送・架設に特に問題はない。</li> </ul>	<p>〔設計〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①アンカーボルト；ボルト径 120 φ (S35CN), ボルト本数 20 本 スタッド D19 φ×130@ 95</li> <li>②定着長等；設計埋め込み長=135.9+24.0=159.9cm→実埋め込み長=227cm</li> <li>③コンクリート強度；<math>\sigma_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2</math>、見掛けの許容付着強度 <math>\tau_a=28 \text{ kgf/cm}^2</math></li> <li>④X=130cmの深さの範囲にコーン破壊強度 <math>\sigma_{coa}=10.4 \text{ kgf/cm}^2</math> を越えないように補強鉄筋を使用する。</li> </ul> <p>〔施工〕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①アンカーボルトの位置を固定し鉛直度を確保するため、固定用治具が必要である。固定用治具は非構造部材であるため、積算上仮設材として扱われる。</li> <li>②アンカーフレーム方式に比べて重量が軽く取り扱いやすい反面、コンクリート打設時のずれ防止に注意が必要である。</li> </ul>																				
経済性	<p>●概算重量</p> <table border="0"> <tr> <td>鋼板・型鋼</td> <td>5.4</td> </tr> <tr> <td>アンカーボルト類</td> <td>6.2</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><hr/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>11.6 tf</td> </tr> </table> <p>●概算工費</p> <table border="0"> <tr> <td>工場製作費割合</td> <td>1.00</td> </tr> </table>	鋼板・型鋼	5.4	アンカーボルト類	6.2	<hr/>			11.6 tf	工場製作費割合	1.00	<p>●概算重量</p> <table border="0"> <tr> <td>鋼板・型鋼</td> <td>2.4</td> </tr> <tr> <td>アンカーボルト類</td> <td>6.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><hr/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>8.4 tf</td> </tr> </table> <p>●概算工費</p> <table border="0"> <tr> <td>工場製作費割合</td> <td>0.55</td> </tr> </table>	鋼板・型鋼	2.4	アンカーボルト類	6.0	<hr/>			8.4 tf	工場製作費割合	0.55
鋼板・型鋼	5.4																					
アンカーボルト類	6.2																					
<hr/>																						
	11.6 tf																					
工場製作費割合	1.00																					
鋼板・型鋼	2.4																					
アンカーボルト類	6.0																					
<hr/>																						
	8.4 tf																					
工場製作費割合	0.55																					



## 4.3 基部構造の提案

### 4.3.1 課題と改善策

#### (1) 課題の抽出

従来型アンカーフレーム方式と名公社方式の各々の定着構造について課題の抽出を行った。WGで議論された項目は以下であるが、具体的な検討や結論を得るまでには至っていない。

#### 1) 従来型アンカーフレーム方式

##### (a) 力の伝達機構

- ・ 計算方法には杭方式とRC方式があるが、押抜き力に対して橋脚基部のベースプレートの支圧力で抵抗できるのではないか。
- ・ コンクリートフーチングに埋め込まれたアンカーフレーム部材の座屈を考慮した設計になっているが、実際はコンクリート中なので変形しないのではないか。

##### (b) 施工精度

- ・ 橋脚基部とフーチングが接する表面の施工精度は、吊橋など基部の部材が大型化すると精度確保が大変である。

##### (c) 輸送とブロック化

- ・ 橋脚の規模に応じてアンカーフレームの平面寸法が大きくなり、輸送の際にブロック化する必要がある。

#### 2) 直接定着(鉛直)方式

##### (a) アンカー方式の特許の有無

- ・ スタッド溶接された極太アンカーボルトを使用しており、メーカー指定や特許の有無が問題にならないか。

##### (b) 仮設用治具と施工性

- ・ アンカーボルトの位置を固定し鉛直度を確保するための、架設用の治具が必要である。橋脚の規模にもよるが、従来型アンカーフレームと同様な施工性に問題はないか。
- ・ 重量が軽く取り扱いやすい反面、コンクリート打設時のずれが問題にならないか。

##### (c) アンカーボルトとスタッドの溶接性

- ・ 熱を加えることによるアンカーボルトの疲労と溶接性に問題はないか。

##### (d) スタッドジベルの疲労強度は問題にならないか。

##### (e) スタッドに代わるものとして、(孔あき)板ジベル、鉄筋・・・は考えられないか。

このうち、鋼製橋脚基部に作用する軸力および曲げモーメントが軸圧縮力および軸引張力としてコンクリートフーチングへ伝達されるとした場合、計算上の仮定(スペック)と実際のものとのイメージが異なっており、構造上明確とは言い難い。このため、圧縮力はフーチングのみで負担し定着部(アンカー)には伝わらないとしたらどうなるかを、各定着形式についてスペックと実際のイメージとの対比で示した(表-4.3.1)。

アンカー部の力の伝達機構……計算上の仮定（スペック）と実際のものとのイメージが異なっている。

例えば、

- ・圧縮力はフーチングのみで負担し、アンカーには伝わらないとしたらどうか。
- ・引張力は軸力と曲げが作用したものとして計算したらどうか。

表-4.3.1 力の伝達機構の対比

	タイプ-1 鋼製脚一部埋込み+アンカーボルト方式	タイプ-2 鋼製脚直接埋込み方式	タイプ-3 アンカーフレーム方式	タイプ-4 直接定着(名公社)方式
力の伝達機構・設計方法	<p>スペックの場合</p>			
	<p>実際のイメージ</p>			

## (2)改善策提案

改善策の提案として、表-4.3.1に示す直接定着（名公社）方式について、架設用の治具と施工性の観点から改善策を検討した。

直接定着（名公社）方式における長所ならびに短所を以下に示す。

### <長所>

- ①フーチングの小型化が可能。
- ②アンカービームを省略でき小型化、軽量化が計れる（輸送・架設重機の小型化）。
- ③鋼重が軽減され、経済化が計れる。

### <短所>

- ①アンカーボルトの位置を固定し、鉛直度を確保するために架設用の固定治具を必要とする。
- ②重量が軽く取り扱いやすい反面、コンクリート打設時のずれ防止に注意が必要。

これら短所への対策として、鉛直精度を確保するための固定治具（フレーム）の改良ならびに架設工法の提案を行う。

具体的な対策を以下に示す。

- ・支承箱抜きの応用により、固定治具の簡素化（テンプレートのみ）を図る。
- ・アンカーボルトの鉛直度を確保するため、球面座金またはテーバーナットの応用。

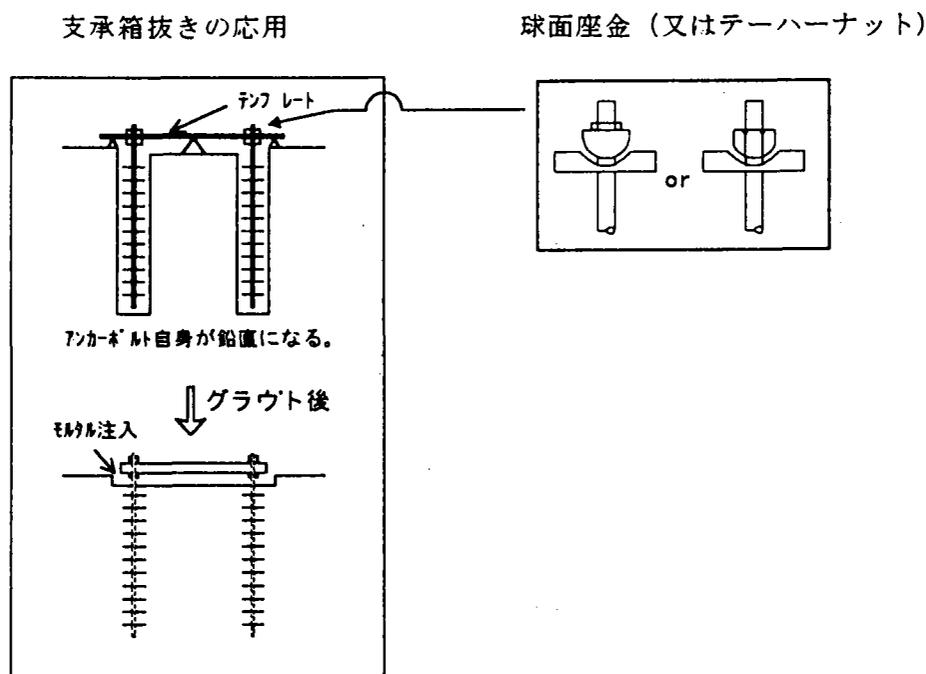


図-4.3.2 固定治具の簡素化

上記対策の実施に当たり、グラウト中の浮上がり、ずれに対する精度確保および箱抜き部における付着強度の影響によるグラウト後の一体化の確認等を試験により確認する必要がある。

#### 4. 3. 2 基部構造のアイデア

従来方式の事例を名公社方式で行った場合の試設計や検討などを行う中で、名公社方式に対する課題が抽出され改善策が提案された。また、鋼製橋脚のコンクリートフーチングへの固定方法は、吊橋におけるタワーの例を挙げるまでもなく、構造上明確とはいえないアンカーフレームが一般的に用いられている。そこで、以下に示すような要請に対し新しい基部構造の提案を行うことにした。

##### 1) 力の伝達機構の明確さ

- ・荷重分担を無視して用いられたコンクリートに荷重の一部でも分担させること。
- ・鋼製橋脚からフーチングへの力の伝達機構が明確であること。

##### 2) 輸送・架設の省力化

- ・施工が容易であり、経済的であること。

##### 3) フーチングの小型化

- ・対象とする鋼製橋脚は、適用範囲がなるべく広く都市内の中小規模とすること。

上記要請を満足させるための橋脚基部構造として、図-4.3.3に示す4タイプに関し検討を実施した。

タイプ-1：鋼製脚一部埋込み+アンカーボルト方式

タイプ-2：鋼製脚直接埋込み方式

タイプ-3：アンカーフレーム（従来型）方式

タイプ-4：直接定着（名公社）方式

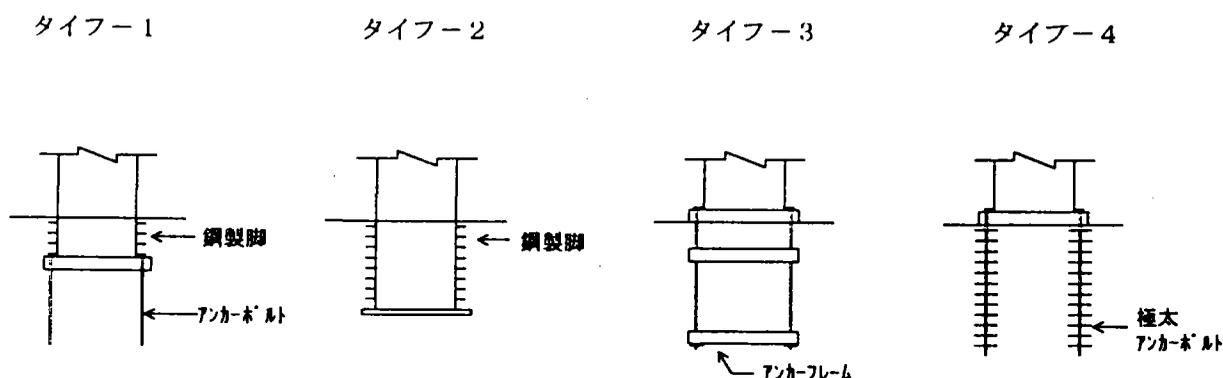


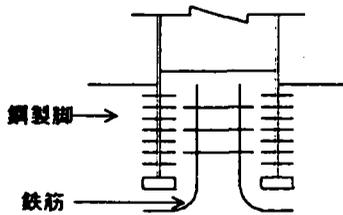
図-4.3.3 橋脚基部構造

これら4タイプからの絞り込みは耐荷力、耐震性、高靱性等の優れた力学性を有する構造であることとした。また、施工面、経済面の観点から従来の基部構造に比べシンプルな構造であること、さらに脚とフーチングとの接合部でコンクリートの施工誤差を調整（吸収）できる構造であること等に主眼をおき検討を実施した。

検討の結果、新形式であるタイプ-2の鋼製脚直接埋込み形式が上記の要請を満足するのではないかと結論に至った。

直接埋込み形式は、鋼板とコンクリートを接合（付着）させるためにずれ止めが必要になる。ずれ止めの形式としては①スタッド、②板ジベル、③有孔鋼板、④有孔鋼板+ジベル筋、⑤形鋼等種々が考えられるが、簡易な構造としては図-4.3.4に示すスタッドあるいは有孔鋼板が妥当と考えた。また、接合部の補強としてはフープ筋を用いる等の方法が考えられる。

◎ アイデア1(スタッド)



◎ アイデア2 (有孔鋼板)

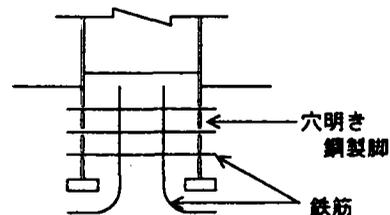


図-4.3.4 基部構造のアイデア

上記ずれ止めの形式はどちらの場合でも実績のない（少ない）形式であることから、実用化するためには以下に示す実験および解析による応力伝達機構の解明と設計法の確率が必要である。

- ① ずれ止めの基礎実験として押し抜きせん断試験（必要に応じ実施する）
- ② 構造物レベルの実験（従来形式の供試体との比較実験も実施）
  - ・ 静的載荷実験、
  - ・ 疲労、耐震性（シュードダイナミック）など確認のための動的載荷実験
- ③ FEM 解析による検証

### 4.3.3 実験計画および試設計

有孔鋼板を利用した直接埋込み形式は実績のない形式であることから、載荷試験を実施し性能を確認する必要がある。ここでは、都市内の中小規模の鋼製橋脚を想定し、供試体の計画（モデル化）と仮定したモデルの耐力について幾つかの視点から試算を行った。

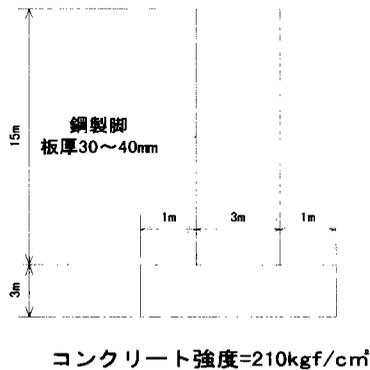
#### (1) 実験計画

##### 1) 橋脚形状

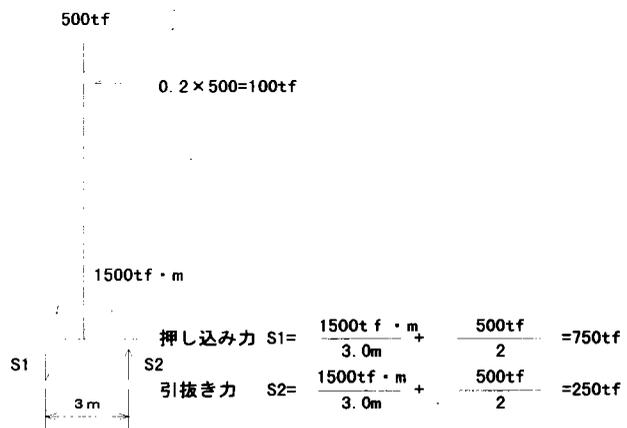
都市内の中小規模の鋼製橋脚の形状は、断面寸法が2500×2500、基部の板厚は40mm前後であり、本実験ではおよそ1/10にスケールダウンし、角形鋼管300×300×4.5程度を用いるものとする。また、鋼管を補剛するためにモルタルを充填する。

#### モデル化

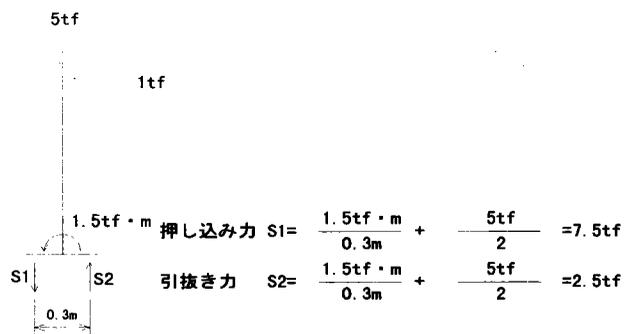
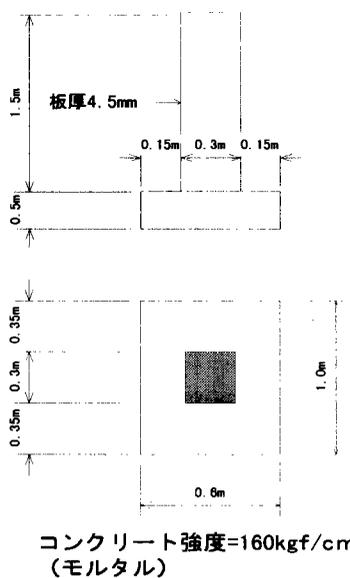
##### 実橋イメージ



##### 作用力



#### 1/10モデル化した時



## 2) フーチング形状

载荷装置と供試体の据え付け作業を考慮して、必要最小限の寸法に抑える。作用水平方向（アクチュエーター）荷重の最大値は20tfとすると、フーチングが直接せん断で押し抜かれないために必要な作用方向の寸法Bは、 $\sigma_{ck}=160\text{kgf/cm}^2$ の場合の許容押し抜きせん断応力度 $\tau=7.5\text{kgf/cm}^2$ を用いると、

$$B = P_{\max} / \tau / H = 20000 / 7.5 / 50 / 2 = 27\text{cm}$$

となり、ここでは $B=35\text{cm}$ とする。

また、孔による付着力を算出する際にかぶり方向となる幅Tは、後述する開口部付着力 $P_{os}$ を $P_{os1} > P_{os2}$ となるように決定する。

$$P_{os1} = 0.15 \times 160 \times 50 \times T \times 2$$

$$P_{os2} = 2.5\text{tf} \times 9 = 22500\text{kgf}$$

より幅Tは、

$$T = 22500 / 0.15 / 160 / 50 / 2 = 10\text{cm}$$

となり、ここでは $T=15\text{cm}$ とする。

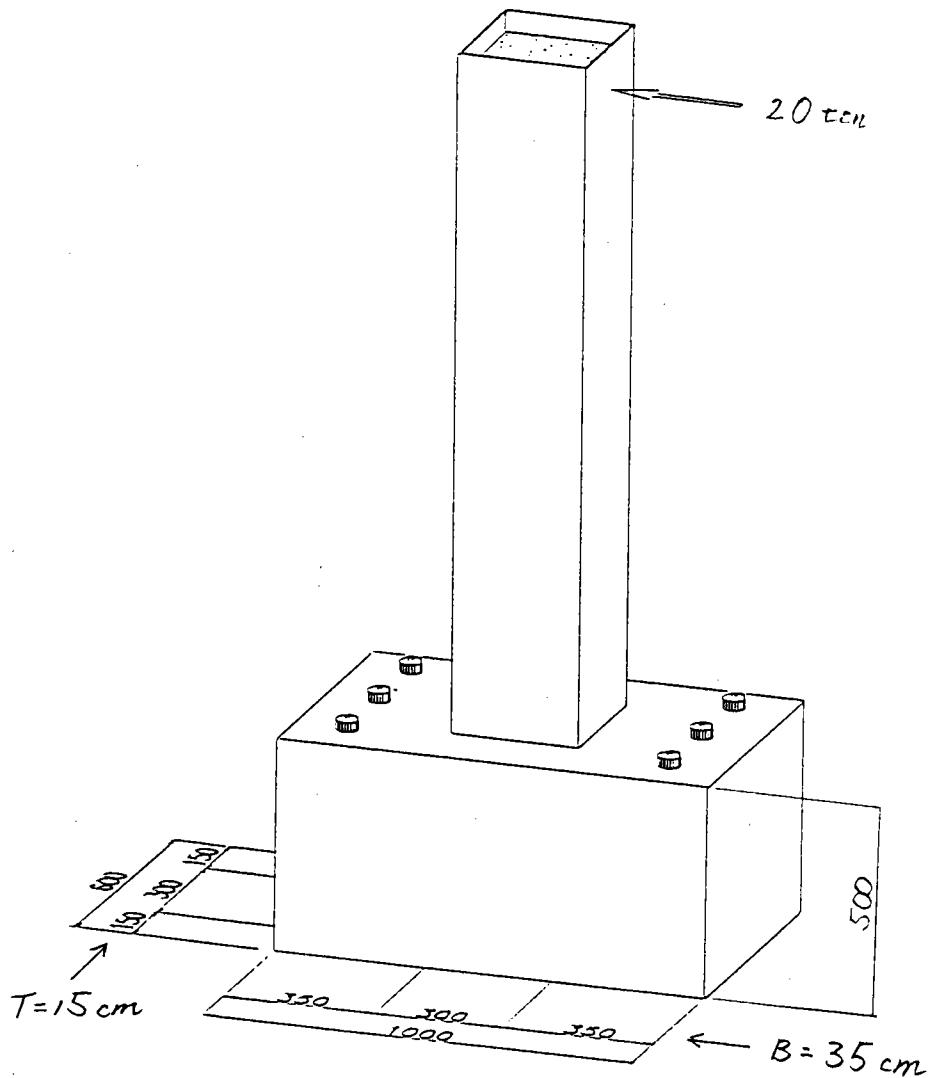


図-4.3.5 フーチング形状図

### 3) 孔径と必要孔数

有孔鋼板とコンクリートの付着力は、

付着力＝鋼材とコンクリートの接着力＋孔による機械的な付着力  
と考えられるが、鋼材とコンクリートの接着力は小さいと考えられるため無視する。  
以下の試算は、「鋼製エレメントとコンクリートとの付着性能に関する研究、コンクリート  
工学年次論文報告集、Vol.16、No2、1994」を参考に行った。

開口部付着力  $P_{os}$  は、 $A_c/A_o \geq 5$  のとき、 $P_{os1}$ 、 $P_{os2}$  のどちらか小さい方で決定される。

$$P_{os1} = 0.15 \times \sigma_{ck} \times A_c$$

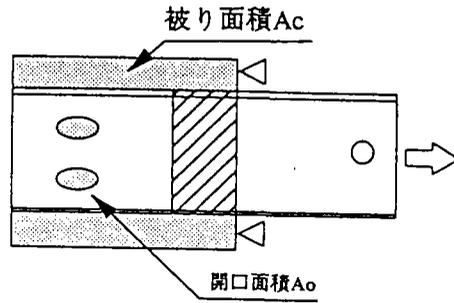
$$P_{os2} = 2.25 \times \sigma_{ck} \times A_o$$

ここで、

$\sigma_{ck}$  : コンクリート強度

$A_c$  : かぶり面積

$A_o$  : 開口面積



本実験の目的上、 $P_{os2}$ 、即ち開口面積で決定されるような孔径と孔数を設定する必要がある。

今、孔径を  $\phi 30\text{mm}$  とすると孔1箇所あたりの付着力  $P_{os2}$  は、 $\sigma_{ck} = 160\text{kgf/cm}^2$  の場合、

$$P_{os2} = 2.25 \times 160 \times 3.0^2 \times \pi / 4 = 2.5\text{tf}$$

であり、前頁より導かれる  $S_1$  を用いると必要孔数は、

$$N = S_1 / P_{os2} = 7.5 / 2.5 = 3$$

となる。実験としては有孔鋼板の埋込み（深さ）方向の付着応力の伝達具合を把握する必要があるため、実験供試体としては図-4.3.6に示す孔径  $\phi 30\text{mm}$ 、孔数9ヶ所程度のもので採用する。

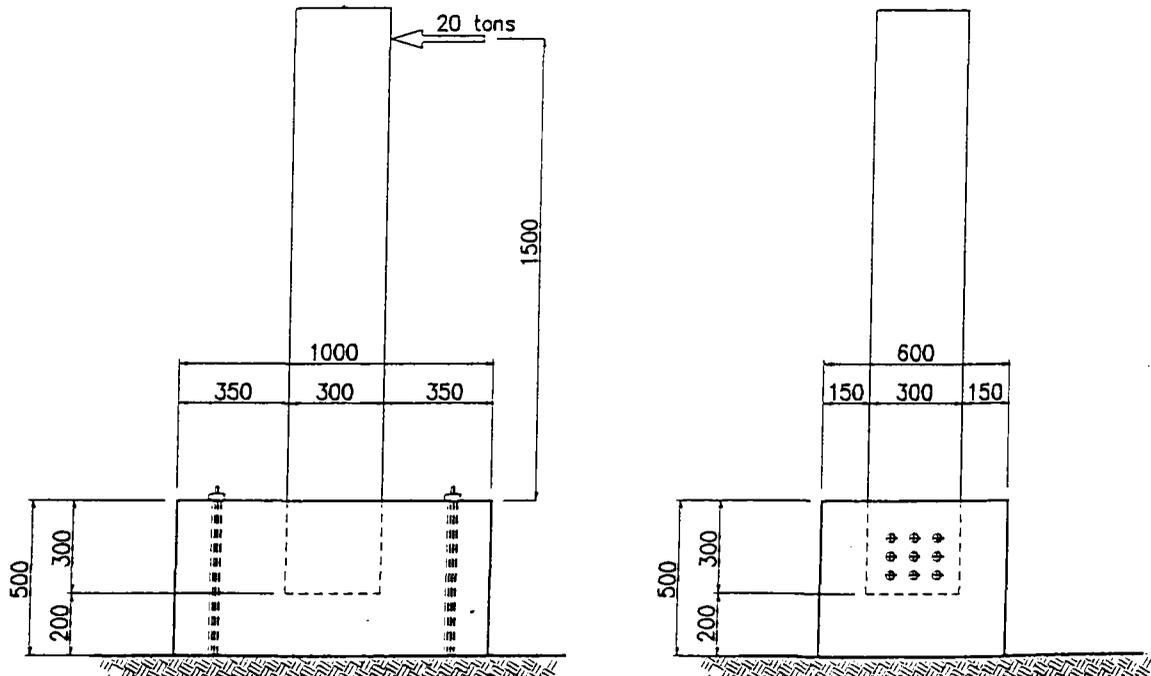


図-4.3.6 実験供試体

## (2) 試計算

### 1) 耐力計算

脚基部の耐力の決定要因として下記が考えられる。

#### ○ 埋め込み部コンクリートの支圧応力度

破壊モード：角形鋼管両側に発生するコンクリート応力度が支圧強度に達したとき、埋め込み部が破壊する。

#### ○ 埋め込み部先端のコンクリートせん断応力度

破壊モード：角形鋼管先端に発生するコンクリート応力度がせん断強度に達したとき、埋め込み部が破壊する。

#### ○ 角形鋼管の応力度

破壊モード：角形鋼管に発生する応力度が降伏強度に達したとき、埋め込み部が破壊する。（最終耐力：全塑性モーメントに至るとき）

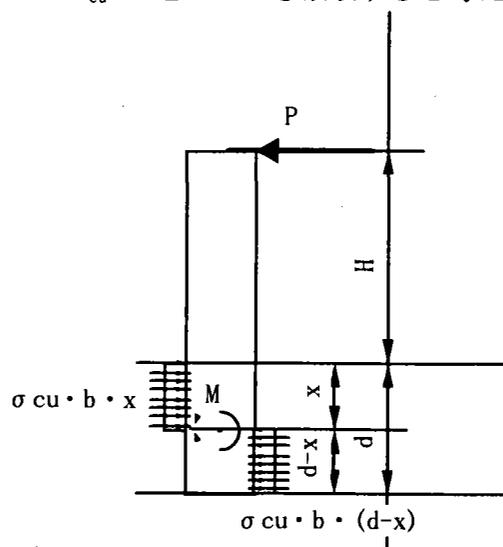
以下、各要因毎に耐力計算を試みる。

#### a) コンクリート支圧応力度の観点からの耐力計算

参考文献：I-A430 コンクリート充填鋼管柱の埋め込み柱脚に関する実験的研究（51回年講、H8.9月）

#### (i) 埋込長 1.0D (300mm) のケース

コンクリートの支圧応力度が  $\sigma_{cu}$  に達したとき破壊すると考える。



図一4.3.7 支圧応力の概念

水平力 P とモーメント M との内力の釣り合いより、

$$\begin{aligned}M &= P \cdot (h + x) \\P &= \sigma_{cu} \cdot b \cdot x - \sigma_{cu} \cdot b \cdot (d-x) \\&= \sigma_{cu} \cdot b \cdot (2x - d) \\M &= 1/2 \cdot \sigma_{cu} \cdot b \cdot x^2 + 1/2 \cdot \sigma_{cu} \cdot b \cdot (d-x)^2 \\&= \sigma_{cu} \cdot b \cdot (x^2 - d \cdot x + 1/2 \cdot d^2)\end{aligned}$$

これを x および p を未知数として解き、

$$\begin{aligned}x^2 + 2h \cdot x - d \cdot (h + d/2) &= 0 \\x &= -h + \sqrt{h^2 + d \cdot (h + d/2)} \\&= -150 + \sqrt{150^2 + 30 \cdot (150 + 30/2)} \\&= 15.68 \text{ cm} \\P &= \sigma_{cu} \cdot b \cdot (2x - d) \\&= 160 \cdot 30 \cdot (2 \cdot 15.68 - 30) \\&= 6532 \text{ kgf} \\&= 6.53 \text{ tf}\end{aligned}$$

(v) 埋込長 1.5D (450mm) のケース

埋込長 1.0D (300mm) のケースと同様に、

$$\begin{aligned}x &= -h + \sqrt{h^2 + d \cdot (h + d/2)} \\&= -150 + \sqrt{150^2 + 45 \cdot (150 + 45/2)} \\&= 23.96 \text{ cm} \\P &= \sigma_{cu} \cdot b \cdot (2x - d) \\&= 160 \cdot 30 \cdot (2 \cdot 23.96 - 45) \\&= 14030 \text{ kgf} \\&= 14.30 \text{ tf}\end{aligned}$$

#### b) コンクリートせん断応力度の観点からの耐力計算

参考文献：V-613 鋼管を用いた合成構造橋脚定着部の耐荷性状 (51 回年講、H8.9 月)

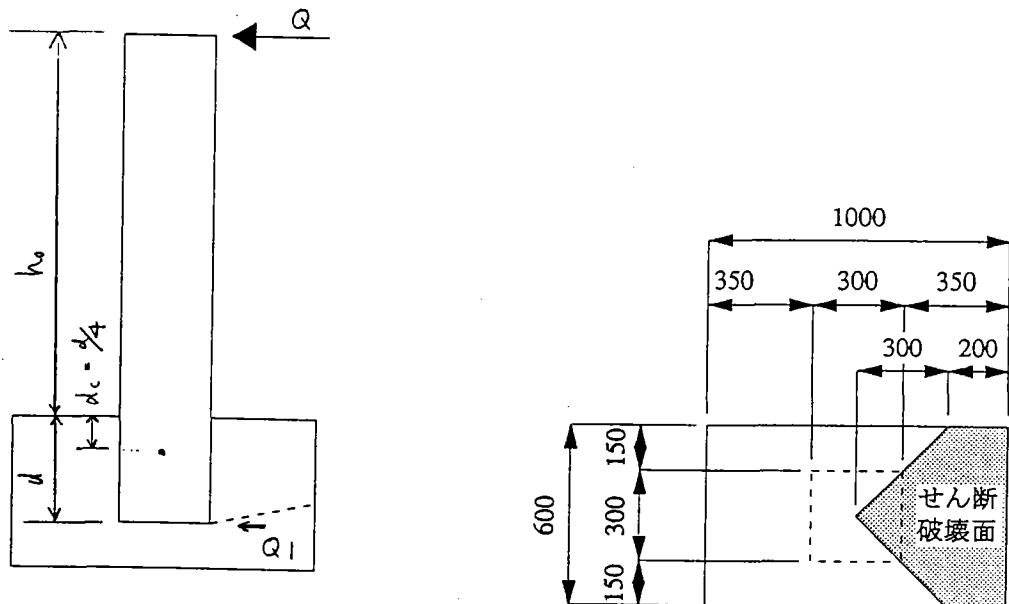
(イ) 埋込長 1.0D (300mm) のケース

i) コンクリートのひび割れ面せん断強度からの耐力

○ 想定せん断破壊面とせん断破壊耐力：

せん断破壊面を下記のように想定。

$$\begin{aligned} \text{せん断破壊面積 } A_{sh} &= 30 \times 30 + 20 \times 60 \\ &= 2100 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$



図—4.3.8 せん断破壊面

角形鋼管先端より発生するせん断破壊の耐力は、下記のとおり。

$$\begin{aligned} \text{せん断破壊耐力} &= \sigma_t \cdot A_{sh} \\ &= 14.7 \text{ kgf/cm}^2 \times 2100 \text{ cm}^2 \\ &= 30900 \text{ kgf} \end{aligned}$$

ここに、 $\sigma_t$  : コンクリートの引張強度

コンクリート標準示方書(H8)により算出

$$\begin{aligned} \sigma_{ck} &= 160 \text{ kgf/cm}^2 \\ &= 15.689 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_t &= 0.23 \times (\sigma_{ck})^{2/3} \\ &= 1.441 \text{ Mpa} \\ &= 14.7 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

○ 水平荷重に換算するための補正率（アーム長補正）：

回転中心を  $d/4$  と想定し、アーム長を考慮した補正率を算出する。

$$\begin{aligned} \text{アーム長補正率} &= (d - d_c) / (h_0 + d_c) \\ &= (30 - 7.5) / (150 + 7.5) \\ &= 0.1429 \end{aligned}$$

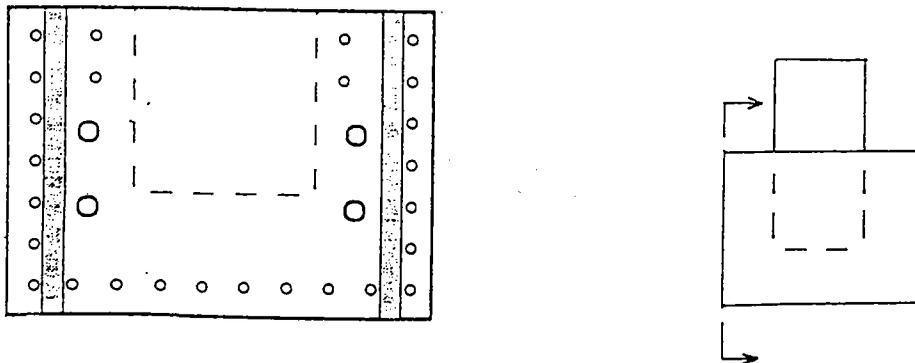
○ 角形鋼管頂部における水平荷重耐力  $Q_{a1}$  :

$$\begin{aligned}
 Q_{a1} &= (\text{せん断破壊力}) \times (\text{アーム長補正率}) \\
 &= \sigma_t \times A_{sh} \times (d - d_c) / (h_0 + d_c) \\
 &= 30900 \times 0.1429 \\
 &= 4415 \text{ kgf} \\
 &= 4.42 \text{ tf}
 \end{aligned}$$

ii ) 長手方向鉄筋の拘束効果による耐力

長手方向の鉄筋 (D16, SD345) 3本 x 2 が有効であり降伏強度に達していると仮定すると、

$$\begin{aligned}
 \text{長手方向鉄筋拘束力} &= \sigma_s \cdot A_s \cdot 6 \\
 &= 345 / 0.098055 \times 1.986 \times 6 \\
 &= 41926 \text{ kgf}
 \end{aligned}$$



図—4.3.9 長手方向鉄筋配筋図

ここで上記のアーム長補正率を考慮すれば

$$\begin{aligned}
 Q_{a2} &= \sigma_s \cdot A_s \cdot 6 \cdot (d - d_c) / (h_0 + d_c) \\
 &= 41926 \text{ kgf} \times 0.1429 \\
 &= 5991 \text{ kgf} \\
 &= 5.99 \text{ tf}
 \end{aligned}$$

iii ) せん断強度想定耐力

上記のひび割れ面せん断強度からの耐力 と長手方向鉄筋の拘束効果による耐力を合算すれば、

$$\begin{aligned}
Q_a &= Q_{a1} + Q_{a2} \\
&= 4.42 + 5.99 \\
&= 10.41 \text{ tf}
\end{aligned}$$

(㉞) 埋込長 1.5D (450mm) のケース

i) コンクリートのひび割れ面せん断強度からの耐力

○ 想定せん断破壊面とせん断破壊耐力：

埋込長 1.0D (300mm) のケースと同様のせん断破壊面積を想定。

$$\begin{aligned}
\text{せん断破壊面積 } A_{sh} &= 30 \times 30 + 20 \times 60 \\
&= 2100 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

このとき、

$$\begin{aligned}
\text{せん断破壊耐力} &= \sigma_t \cdot A_{sh} \\
&= 14.7 \text{ kgf/cm}^2 \times 2100 \text{ cm}^2 \\
&= 30900 \text{ kgf}
\end{aligned}$$

○ 水平荷重に換算するための補正率 (アーム長補正)：

回転中心を  $d/4$  と想定し、アーム長を考慮した補正率を算出する。

$$\begin{aligned}
\text{アーム長補正率} &= (d - d_c) / (h_0 + d_c) \\
&= (45 - 11.25) / (150 + 11.25) \\
&= 0.2093
\end{aligned}$$

○ 角形鋼管頂部における水平荷重耐力  $Q_{a1}$ ：

$$\begin{aligned}
Q_{a1} &= (\text{せん断破壊力}) \times (\text{アーム長補正率}) \\
&= \sigma_t \times A_{sh} \times (d - d_c) / (h_0 + d_c) \\
&= 30900 \times 0.2093 \\
&= 6467 \text{ kgf} \\
&= 6.47 \text{ tf}
\end{aligned}$$

ii) 長手方向鉄筋の拘束効果による耐力

長手方向の鉄筋 (D16, SD345) 3本 x 2が有効であり降伏強度に達していると仮定すると、

$$\begin{aligned}
 \text{長手方向鉄筋拘束力} &= \sigma_s \cdot A_s \cdot 6 \\
 &= 345 / 0.098055 \times 1.986 \times 6 \\
 &= 41926 \text{ kgf}
 \end{aligned}$$

ここで上記のアーム長補正率を考慮すれば

$$\begin{aligned}
 Q_{a2} &= \sigma_s \cdot A_s \cdot 6 \cdot (d - d_c) / (h_0 + d_c) \\
 &= 41926 \text{ kgf} \times 0.2093 \\
 &= 8775 \text{ kgf} \\
 &= 8.78 \text{ tf}
 \end{aligned}$$

### iii) せん断強度想定耐力

上記ひび割れ面せん断強度からの耐力 と長手方向鉄筋の拘束効果による耐力を合算すれば、

$$\begin{aligned}
 Q_a &= Q_{a1} + Q_{a2} \\
 &= 6.47 + 8.78 \\
 &= 15.25 \text{ tf}
 \end{aligned}$$

### c) 角形鋼管応力度の観点からの耐力計算

#### (イ) 角形鋼管の断面定数と耐力モーメントの算出

□ 300 × 300 × 6 (SS400)

$$I = 10169 \text{ cm}^3$$

$$Z = 678 \text{ cm}^3$$

$$Z_p = 778 \text{ cm}^3$$

降伏モーメント

$$\begin{aligned}
 M_y &= \sigma_y \times Z \\
 &= 2400 \text{ kgf/cm}^2 \times 678 \text{ cm}^3 \\
 &= 1627000 \text{ kgf*cm} \\
 &= 16.27 \text{ tf*m}
 \end{aligned}$$

全塑性モーメント

$$\begin{aligned}
 M_p &= \sigma_y \times Z_p \\
 &= 2400 \text{ kgf/cm}^2 \times 778 \text{ kgf/cm}^2 \\
 &= 1867000 \text{ kgf*cm} \\
 &= 18.67 \text{ tf*m}
 \end{aligned}$$

#### (ロ) 等価水平力に換算

$$\text{作用長さ} = 150 \text{ cm}$$

等価水平力 ( $M_y$  対応)

$$= 16.27 / 1.5$$

$$= 10.85 \text{ tf}$$

等価水平力 ( $M_p$  対応)

$$= 18.67 / 1.5$$

$$= 12.45 \text{ t}$$

d) 合成柱応力度の観点からの耐力計算

参考文献：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼コンクリートの複合構造物）（案）

(イ) 埋め込み長 1.0D(300mm)のケース

水平方向の釣り合いより

$$V_d' = f_{ad}' \cdot D \cdot (2x - d)$$

$$51527 = 2 \times 160 \times 30 \times (2 \times x - 30)$$

$$x = 17.68 \text{ cm}$$

埋め込み柱脚部の設計曲げ耐力の算出

$$M_{ud} = \{f_{ad}' \cdot D \cdot (d^2 - 2x^2) / 2\} / \gamma_b$$

$$= \{2 \times 160 \times 30 \times (30^2 - 2 \times 17.68^2) / 2\} \times 1.02$$

$$= 1293342 \text{ gf} \cdot \text{cm}$$

$$= 12.93 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

ここで、 $f_{ad}'$ :フーチングコンクリートの設計支圧強度(= $2f_{cd}'$ )

$D$ :柱径または幅

$d$ :埋め込み深さ

$x$ :フーチング表面から埋め込み部中立軸位置までの距離

$\gamma_b$ :部材係数(=1.02)

等価水平力に換算

$$\text{作用長さ} = 150 \text{ cm}$$

$$\text{等価水平力} = 12.93 / 1.50 = 8.62 \text{ tf}$$

(ロ) 埋め込み長 1.5D(450mm)のケース

同様に水平方向の釣り合いより

$$V_d' = f_{ad}' \cdot D \cdot (2x - d)$$

$$64856 = 2 \times 160 \times 30 \times (2 \times x - 45)$$

$$x = 25.88 \text{ cm}$$

埋め込み柱脚部の設計曲げ耐力の算出

$$M_{ud} = \{f_{ad}' \cdot D \cdot (d^2 - 2x^2) / 2\} / \gamma_b$$

$$= \{2 \times 160 \times 30 \times (45^2 - 2 \times 25.88^2) / 2\} \times 1.02$$

$$= 325652 \text{ gf} \cdot \text{cm}$$

$$= 32.26 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

等価水平力に換算

$$\text{作用長さ} = 135 \text{ cm}$$

$$\text{等価水平力} = 32.26 / 1.35 = 23.89 \text{ tf}$$

各種観点からの耐力整理

	支圧応力度からの耐力	せん断応力度からの耐力 (*1)	角形鋼管応力度からの耐力 (*2)	合成柱応力度の観点からの耐力計算
1.0D (300 mm)	6.53 tf	4.42 tf ( 10.41 tf )	10.85 tf [ 12.45 tf]	8.62 tf
1.5D (450 mm)	14.30 tf	6.47 tf ( 15.25 tf )	10.85 tf [ 12.45 tf]	23.89 tf

(\*1) : ( ) 内に示すものは、長手方向鉄筋の拘束を考慮する場合の耐力

(\*2) : [ ] 内に示すものは、角形鋼管の全塑性モーメントに対応する耐力

## 4.4 孔明き鋼板を利用した基部構造の実験

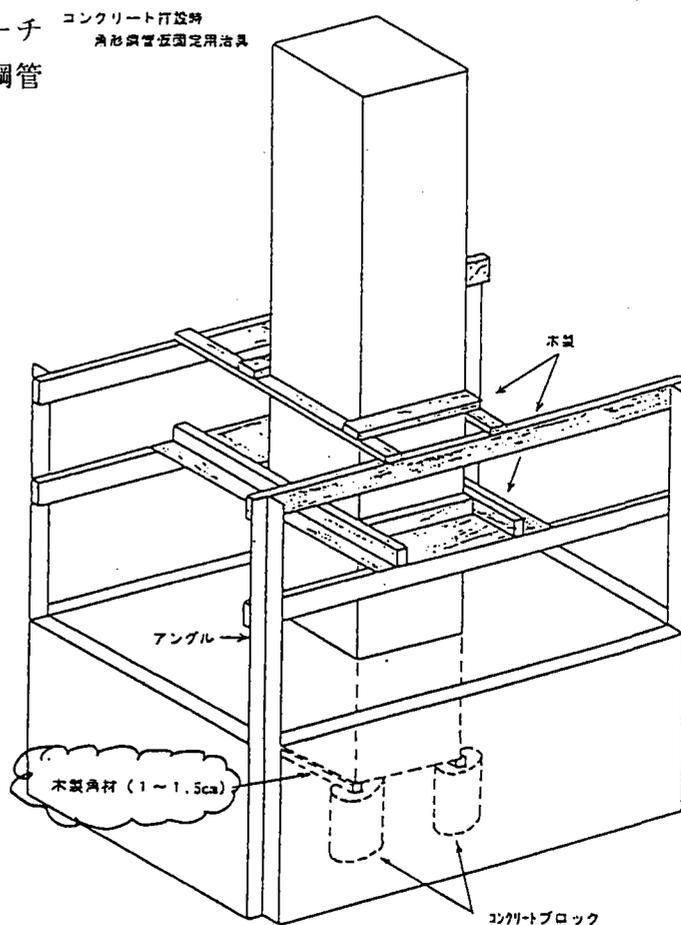
### 4.4.1 実験の目的

本研究で製作した実験供試体は鋼管に孔を設けてフーチング部に直接埋め込む、今までに実績のない複合構造形式であることから、基礎的な力学的性能を確認する必要がある。

今回製作した供試体は3体で、有孔数と埋め込み深さをパラメータとして検討した。鋼管を直接埋め込むだけでは鋼管とコンクリートとの付着力が非常に小さいという欠点があり、鋼板に孔を設けることでコンクリートと付着が得られ同時にコンクリートの打設が用意になると考え全供試体に孔を設けて実験を行った。また、埋め込み深さによるフーチングへの影響を考慮する上で、埋め込み深さが $1.0D$  ( $D$ は鋼管の径)と $1.5D$ の2種類の供試体を用いた。

従来用いられているアンカーフレーム方式と同等以上の力学的性能を有しているか。また、有孔数によるアンカー耐力への寄与および埋め込み深さによる基部とアンカーの応力伝達機構の解明を目的として実験を行った。

なお、鋼板との付着が切れるまでの応力伝達を明確にするために、フーチングコンクリートに埋め込まれた鋼管の下端に木製角材を敷いた。



#### 4.4.2 実験の概要

##### (1) 供試体

実験のために制作した供試体は鋼管に孔を設け、これをフーチングに直接埋め込むことで鋼管柱とフーチングを一体化させた複合構造である。

また、今回の実験においては鋼管に剛性を持たせるため鋼管内部にコンクリートを充填し実験を行った。実験装置および供試体の設置を図-4.4.3に、また各供試体の詳細を図-4.4.4、4.4.5、4.4.6にそれぞれ示す。

なお図 4-2-1 に示すように、載荷装置（アクチュエーター）側をN側、紙面側をE側とする、E-W-S-N表示によって部材、ゲージ位置などの方向を示すこととする。

##### ①有孔数

no.1：有孔数3×2列、埋め込み深さ1.0D（300mm）

no.2：有孔数3×3列、埋め込み深さ1.0D（300mm）

no.3：有孔数3×2列、埋め込み深さ1.5D（450mm）

注）有孔部への鉄筋の差込は行わない。

##### ②脚形状

・1/10にスケールダウン、角形鋼管300×300×6

・フーチングへの埋め込み深さは天端よりno.1、2は300mm、no.3は450mm

##### ③フーチング形状

・ $\sigma_{ck} = 160\text{kg/cm}^2$

・作用水平荷重20tf（アクチュエーターの能力）の直接せん断力で押し抜かれない寸法とし、必要な補強鉄筋を配置する。no.1、2は長さ1000×幅700×高さ500、no.3は長さ1000×幅700×高さ650

##### (2) 供試体の材料特性

##### ①鋼材

鋼材にはJIS G 3101 SS400の規格に合致する厚さ6mmのものを使用した。

##### ②コンクリート

コンクリートの打設は2回に分けて行った。第1回目にフーチング部と鋼管埋め込み部を打

設し、翌日に鋼管部に打設を行った。締め固めにはバイブレーターを使用し、打設後は湿った布をかぶせ上からビニールシートで覆い、その後も乾燥しないように随時散水して養生を行った。

コンクリートはいずれもJIS A 5308に適合するレディーミクストコンクリートを使用し、テストピースによるコンクリート強度試験・弾性係数試験の結果と材料特性を図-4.4.1に示す。

表-4.4.1 コンクリートの材料特性

		第1回 (フーチング部)	第2回 (鋼管部)
呼び強度 (Mpa)		16	16
スランプ (cm)		18	18
祖骨材最大寸法 (cm)		20	20
コンクリートの種類		普通	普通
強 度	no.1 (kgf/cm <sup>2</sup> )	200.8	254.2
	no.2 (kgf/cm <sup>2</sup> )	188.0	217.7
	no.3 (kgf/cm <sup>2</sup> )	208.4	242.8
ヤング係数		2.05E+05	2.17E+05
ポアソン比		0.122	0.148

## ③鉄筋

主鉄筋には JIS G 3112-1985 で規定される D16 SD345 畏敬鉄筋を使用し、帯鉄筋には D13 SD345 畏敬鉄筋をそれぞれ使用した。図-4.4.2 に鉄筋の機械的性質を示す。

表-4.4.2 コンクリートの材料特性

	D16 SD345	D13 SD345
断面積 (cm <sup>2</sup> )	1.986	1.267
降伏応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	4030	3940
引張強さ (kgf/cm <sup>2</sup> )	5970	5880

## (3) 試験方法

## ①供試体の設置

設置は各供試体とも同様に、フーチングN端から100mmと200mm、S端から100mm、200mmでE端から75mm、W端から75mmの場所に計8本のPC棒にて台座に固定し、プレストレスを導入することで水平方向及び垂直方向を拘束した。1本あたりの導入プレストレス量は約10tfとし、合計80tfのプレストレスを導入した。

## ②載荷方法

載荷装置 (アクチュエーター) は、反力壁の床から2270mmの位置にN-S方向に設置した。載荷するにあたり、アクチュエーターのヘッドが縮む方向の載荷を正荷重 (または引き)、伸びる方向の載荷を負荷重 (または押し) とした。

また、アクチュエーターは反力壁に固定されてるためアクチュエーター先端に鉛直方向移動可能なスイベルヘッドを用い、供試体の載荷位置にPC棒により緊結された載荷用治具と固定することにより、供試体への載荷を行った。

## ③変位計測方法

載荷によって水平方向、垂直方向に移動することがないように、供試体はPC棒によって十分固定したが、それでも完全に変位を押さえることは不可能であると予測

された。そこで載荷による鋼管柱の水平変位を計測するため、供試体各所に変位計を設置して変位量を計測した。

供試体N端及びS端にフーチングの水平方向の移動を計測するために50mm変位計を、またフーチングの垂直方向拘束の支点間には供試体の回転を計測するために25mm変位計をそれぞれ設置した。さらに、鋼管のフーチング付け根部分にコンクリートの浮き上がりを計測するために50mmをN側、S側にそれぞれ設置した。

変位計の取り付け位置を図-4.4.7に示す。

#### ④ひずみ計測方法

図-4.4.8、4.4.9に示すように、供試体の各部には載荷によるひずみを計測するためにワイヤーストレインゲージを貼付した。

まず、鋼管柱埋め込み部および脚部には孔中心鉛直上、鋼管中心鉛直方向にゲージ長3mmのものをno.1、no.2にはN側及びS側に計42枚貼付した。no.3においては同様に計54枚貼付した。

フーチング内主鉄筋には、フーチング中心位置を0mmとしてN方向を正、S方向を負とすると、上部鉄筋及び下部鉄筋の-180mm、+180mmの各位置に、奥方向2カ所にゲージ長3mmのものを計8枚貼付した。

コンクリート表面にはフーチング鉄筋位置真上の-105mm、-35mm、+35mm、+105mmの両面各位置に計8枚貼付した。また、no.2とno.3においては鋼管より放射状に伸びるひび割れを計測するために、図-4.4.8、4.4.9に示すように鋼管のE側とW側、及び対角線上に計6枚貼付した。

注) ( ) 内は供試体no. 3を示す。

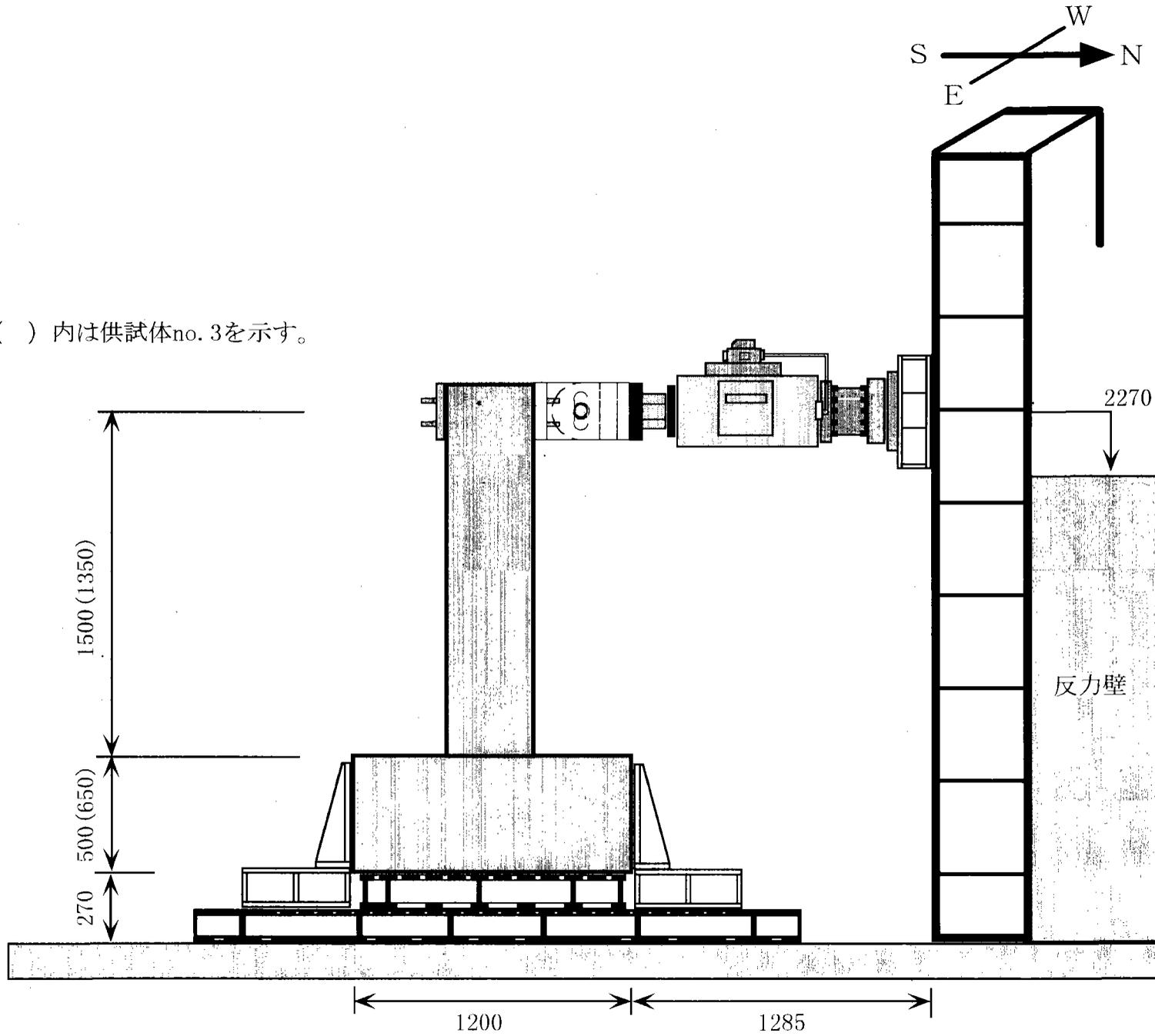
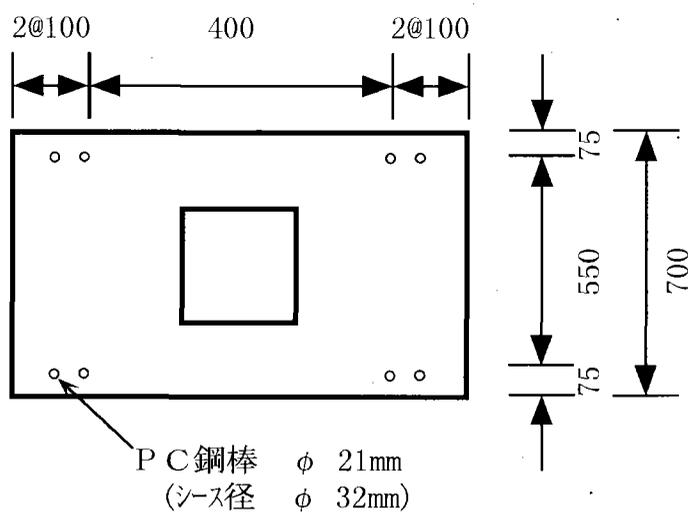
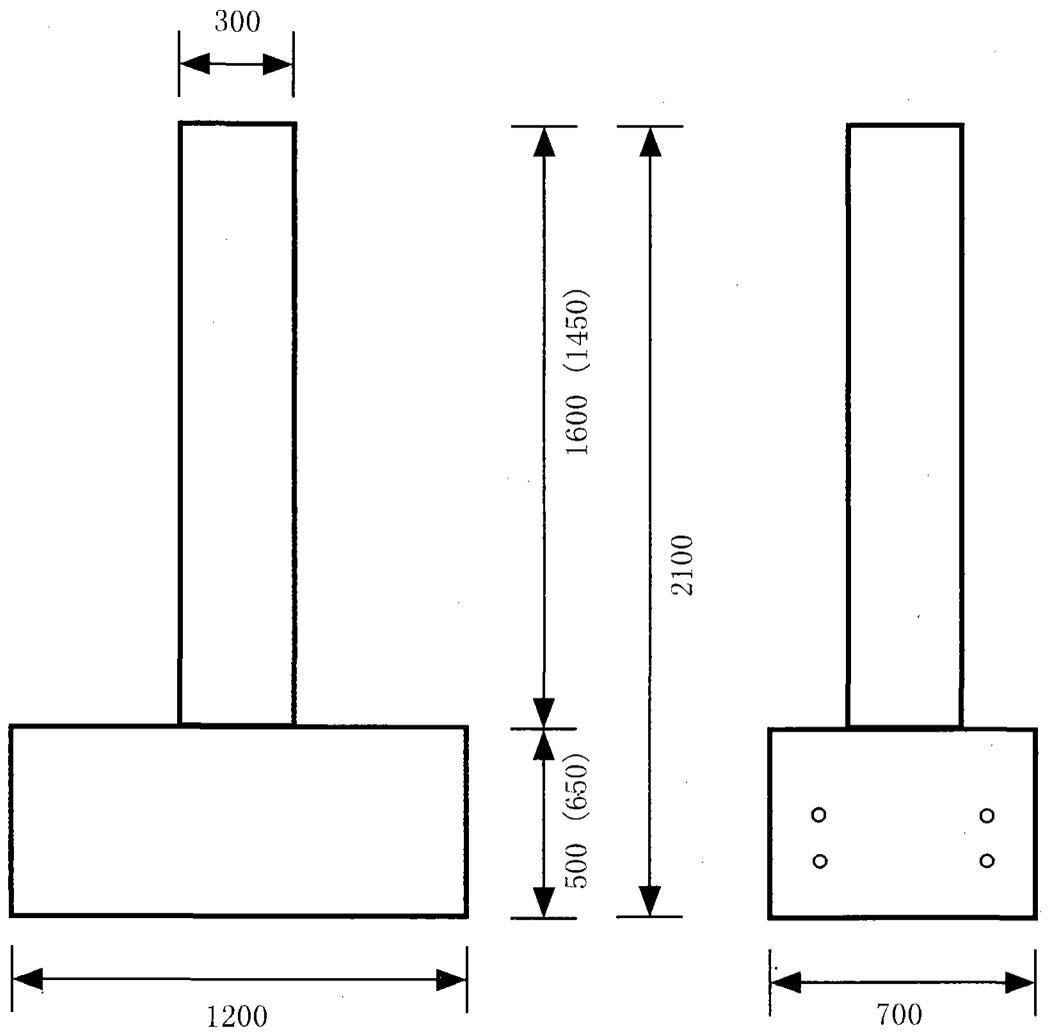


図-4.4.3 実験装置全体図



注) ( ) 内は供試体no. 3を示す。

供試体番号

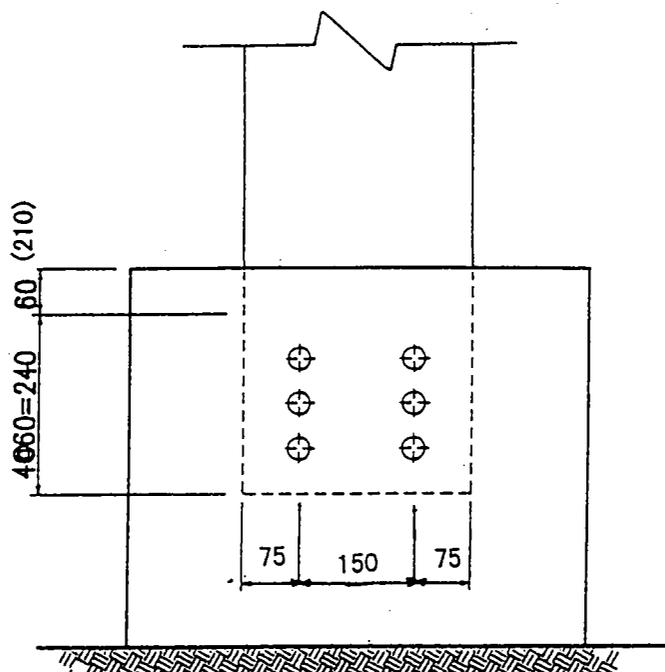
- no. 1 : 有孔数 3 × 2 列、埋め込み深さ 1.0D (300mm)
- no. 2 : 有孔数 3 × 3 列、埋め込み深さ 1.0D (300mm)
- no. 3 : 有孔数 3 × 2 列、埋め込み深さ 1.5D (450mm)

図-4.4.4 供試体全体図

# 角形鋼管

No. 1 : 有孔数  $3 \times 2$  列、埋込み長  $1.0 D$  (300mm)

No. 3 : 有孔数  $3 \times 2$  列、埋込み長  $1.5 D$  (450mm)



No. 2 : 有孔数  $3 \times 3$  列、埋込み長  $1.0 D$  (300mm)

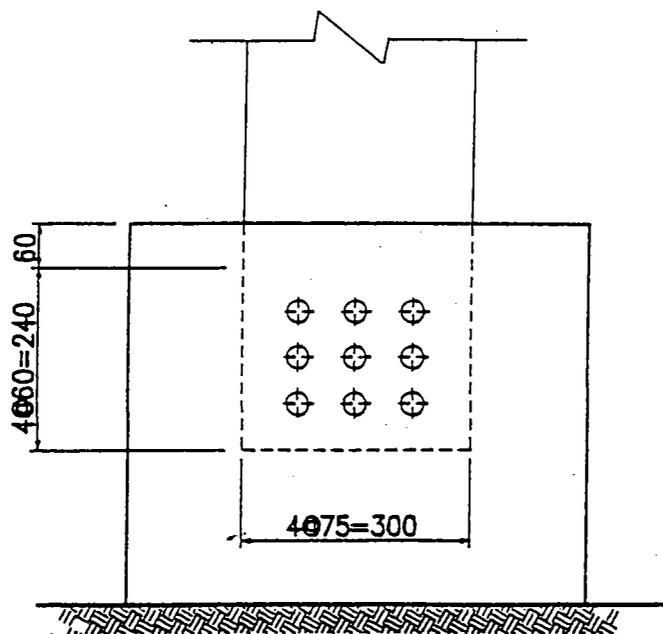
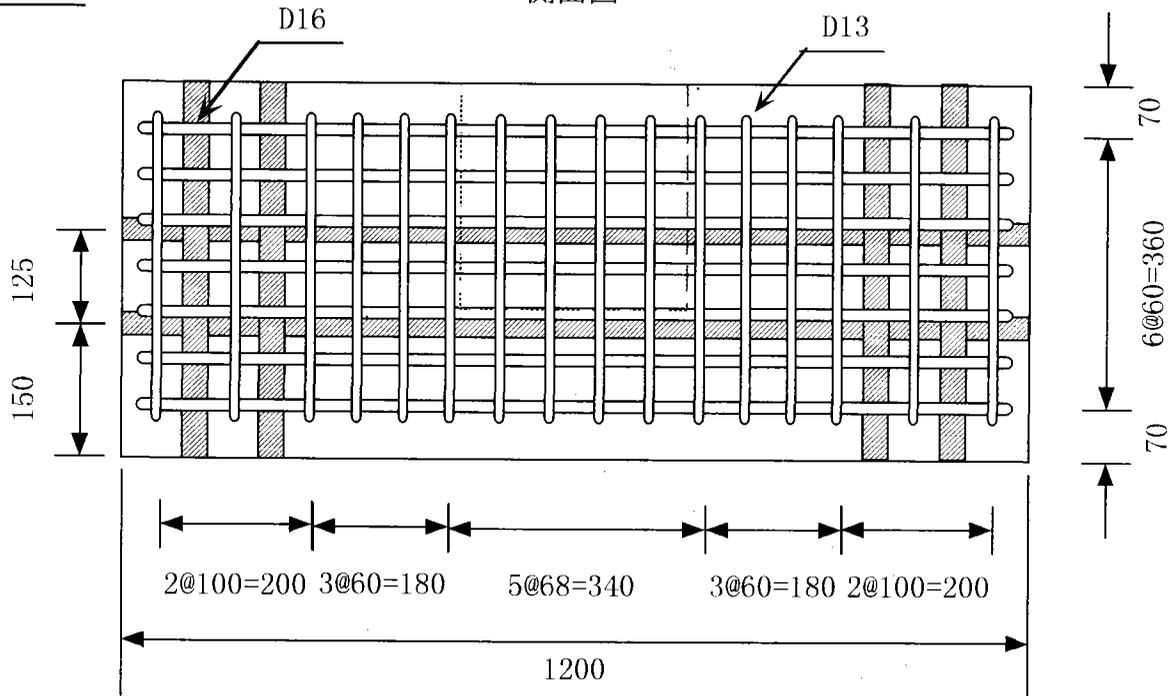


図-4.4.5 供試体詳細図

1-1

側面図



断面図

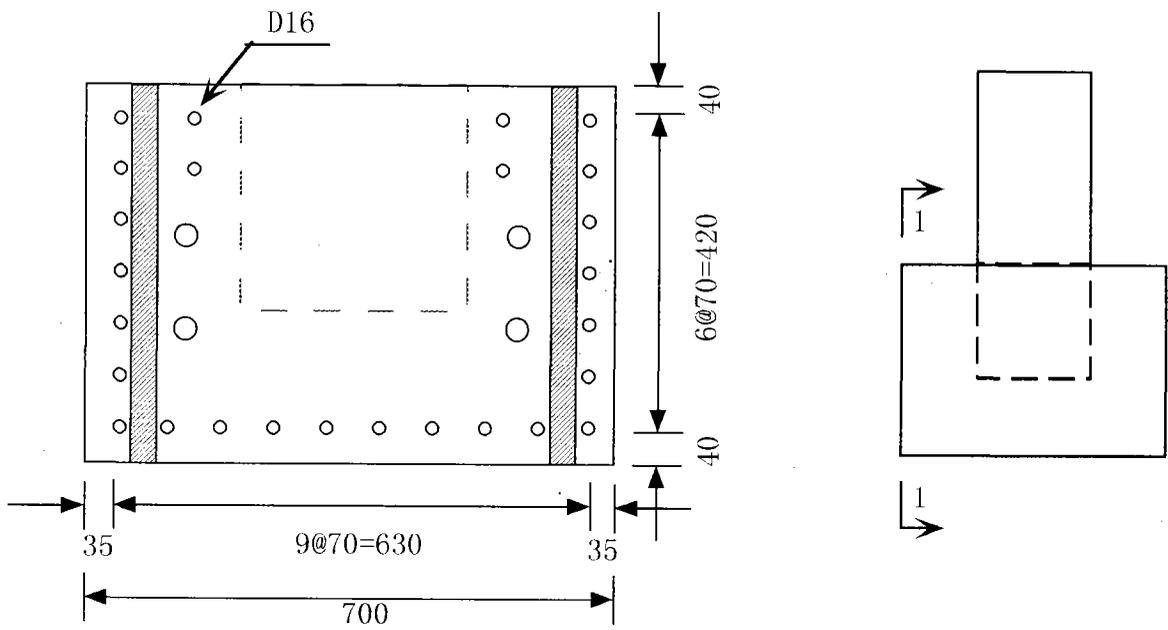


図-4.4.6 配筋図（フーチング部）

(a), (b), (e), (f) : 50mm変位計  
(c), (d) : 25mm変位計

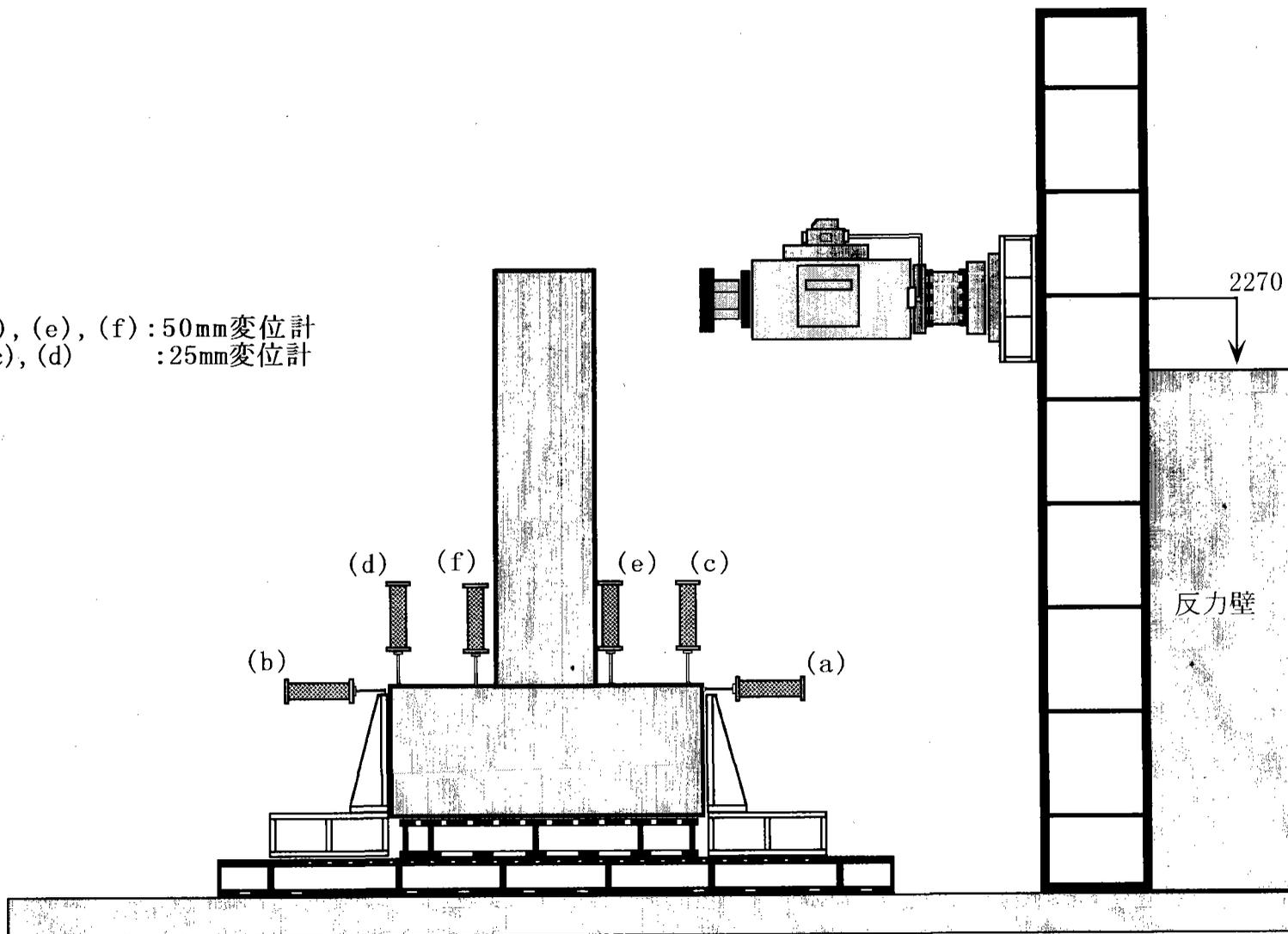
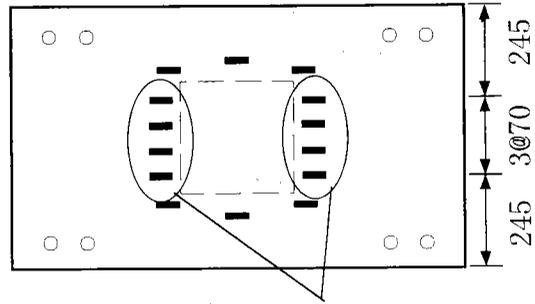


図-4.4.7 変位計配置図

コンクリート表面



鉄筋位置真上

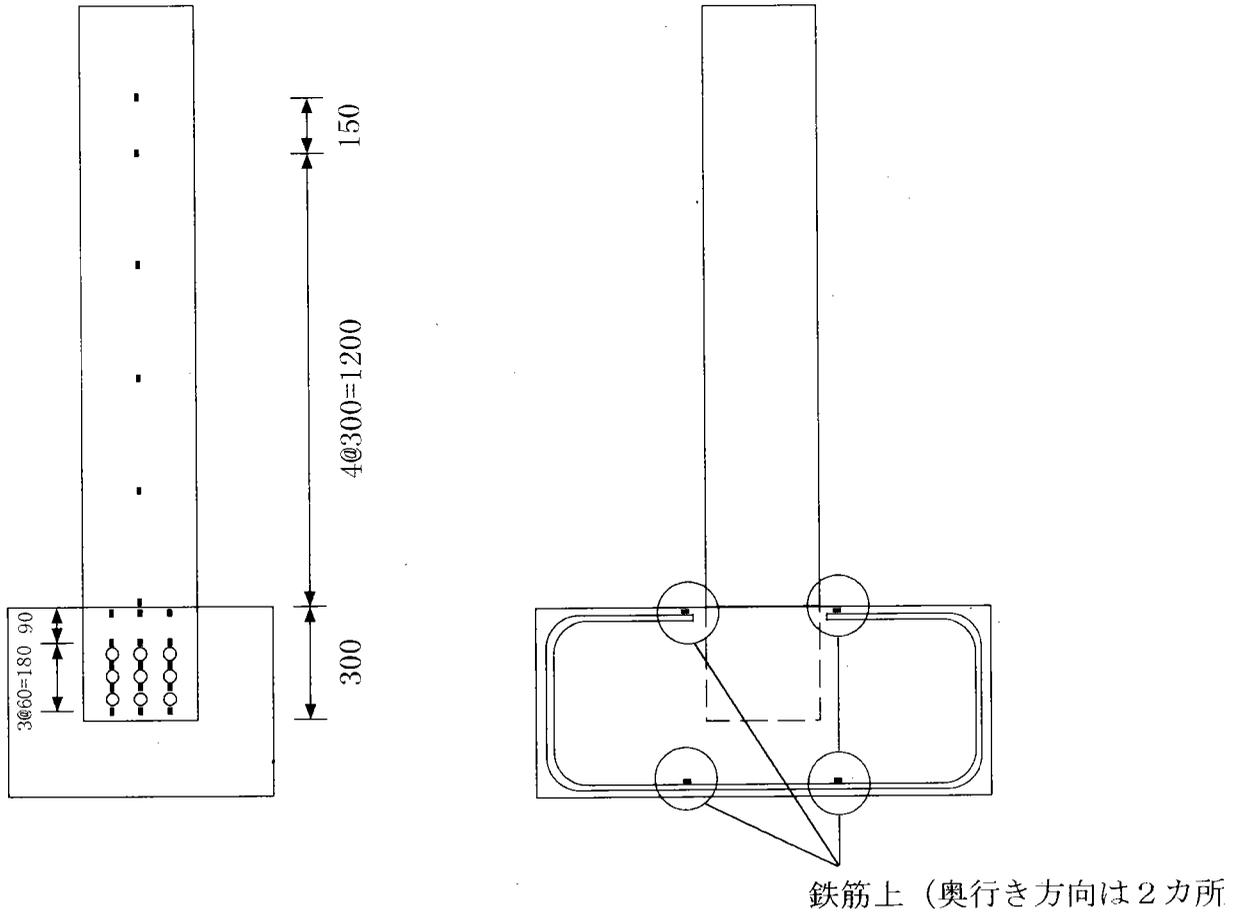
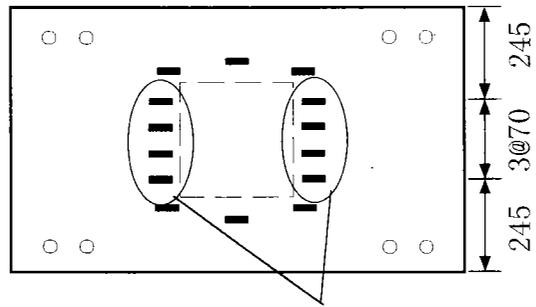
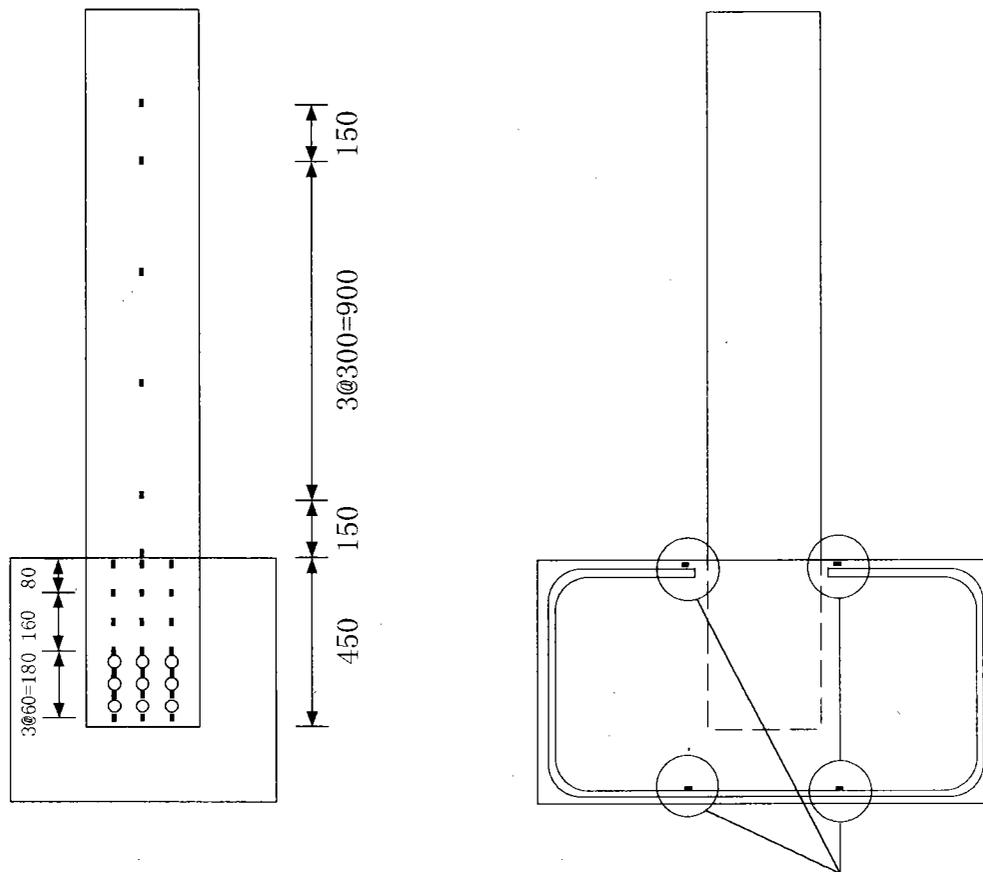


図-4-4-8 no. 1, no. 2ひずみゲージ配置図

コンクリート表面



鉄筋位置真上



鉄筋上 (奥行き方向は2カ所)

図-4-4-9 no. 3ひずみゲージ配置図

#### 4.4.3 験結果および考察

有孔鋼板の付着強度は、孔の機械的な抵抗による付着と、コンクリートと鋼板の接着的抵抗による付着からなると考えられる。文献 9) (不連続有限要素解析法を用いた有孔鋼板とコンクリートの付着特性に関する研究) によると低荷重時は、コンクリートと鋼板の接着的抵抗が支配的であるが、荷重の増加に伴い孔の機械的な抵抗が大きくなり孔部分のみで荷重を支えるようになって最終的にこの部分のコンクリートにもせん断すべりが生じ全体的な付着破壊に至るとされている。今回の実験では、孔の効果による付着強度がどの程度あるか把握することがポイントとなる。鋼柱のひずみ分布とフーチング表面のコンクリートひずみ分布の変化を中心に着目すると同時にせん断すべりが生じた場合変化すると思われる荷重-変位グラフを参考にしながら考察を行う。なお、荷重載荷レベルは 1/10 モデルで、地震時水平力を 1 t f、フーチングのせん断耐力を 5 t f 程度と想定しているため 5 t f までの実験結果を整理した。また、付着破壊後の変化が顕著に現れるように供試体下端に木製角材を取り付けている。

##### (1) 孔の効果

図-4.4.10~図-4.4.12 に NO1~NO3 供試体鋼柱埋め込み部引っ張り側ひずみ分布図を示す。横軸にひずみ、縦軸にひずみゲージの位置をとり 5.0 t f 付近までのひずみ分布図の変化を見ると、荷重端から円孔位置に向けて徐々にひずみが減少している。これは有孔鋼板の付着により水平力がフーチングに伝達されていることを示している。また、円孔の自由端側の鋼板のひずみが圧縮側に傾向があるがこれは、文献 9) によると鋼板が抜け出ようとする動きに対して円孔の位置でこの方向への変形が妨げられるためであり、孔が機械的な抵抗により付着力に寄与していることを示しているといえる。

試計算によると孔 1 個当たりの付着力は、2.5 t f で各供試体の付着強度は

$$\text{NO1 供試体} \quad 2.5 \text{ t f} \times 6 \text{ 個} = 15.0 \text{ t f}$$

$$\text{NO2 供試体} \quad 2.5 \text{ t f} \times 9 \text{ 個} = 22.5 \text{ t f}$$

$$\text{NO3 供試体} \quad 2.5 \text{ t f} \times 6 \text{ 個} = 15.0 \text{ t f}$$

となり、これを水平力に換算すると

$$\text{NO1 供試体} \quad 15.0 \times 0.3 / 1.50 = 3.0 \text{ t f}$$

$$\text{NO2 供試体} \quad 22.5 \times 0.3 / 1.50 = 4.5 \text{ t f}$$

$$\text{NO3 供試体} \quad 15.0 \times 0.3 / 1.35 = 3.3 \text{ t f}$$

となる。

実験において付着破壊によるせん断すべりが生じた場合、ひずみ分布に変化が生じると想定される。図-4.4.10~図-4.4.12 の鋼柱埋め込み部ひずみ分布は、グラフの間隔が広がる荷重で付着破壊が生じたと予測され、NO1 供試体は 1.1 t f ~ 1.9 t f の間 NO2 供試体は 1.5 t f ~ 2.0 t f の間で、NO3 供試体は 1.5 t f ~ 2.0 t f の間となった。次に、図-4.4.13~図-4.4.15 に NO1~NO3 供試体のフーチング表面のコンクリートひずみ分布図を示す。横軸にひずみ縦軸に荷重をとり、荷重増加によるひずみ分布の変化を見るとフーチングは、付着破壊によるせん断すべりが生じた場合に圧縮ひずみが発生すると考えられ、その時の荷重は、NO1 供試体は 1.5 t f 付近、NO2 供試体は 2.0 t f 付近、NO3 供試体は 4.5 t f 付近となった。また載荷点位置での作用荷重と変位の関係を図-4.4.16~図-4.4.18 に示す。図中の点線は、供試体のフーチングの位置を固定点の

片持ち梁とし、脚をRC構造および鋼構造と考えた場合の計算値を示している。この荷重変位曲線は付着破壊によるせん断すべりが生じた場合グラフの傾きが変化すると考えていたが、NO2 NO3 供試体の2.0 t f 付近でその傾向が見られるがNO1 供試体は、はっきりとした変化が見られなかった。またNO1、NO2 供試体の変位は脚を片持ち梁として計算した値よりも大きくなった。

NO3 供試体のコンクリートひずみより推測される付着強度をのぞきいずれの場合も計算値よりも小さな付着強度となった。これは以下の原因が考えられる。

- ・鋼脚の鉛直度や平面的なねじれ方向のずれ等による分力の影響。
- ・孔の機械的付着力は、孔が応力方向に直列に並んでいる場合均等に作用せず、孔の数に比例しない。

などがあげられる。

### (2) 埋め込み深さの効果

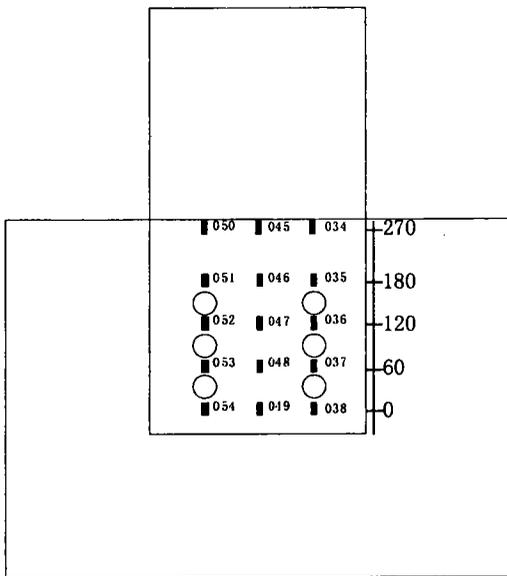
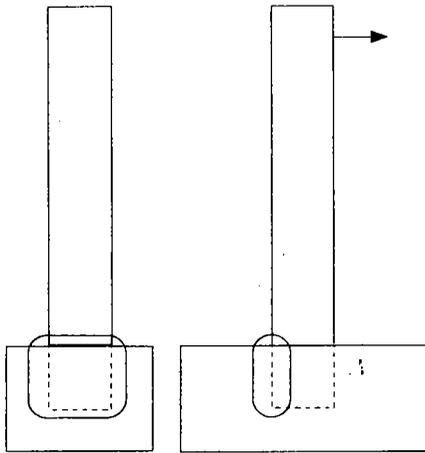
図-4.4.16 および図-4.4.17 に示すNO1、NO2 供試体の載荷点位置での荷重変位曲線の実験結果は計算結果に比べ大きな変位となっている。これに対し、図-4.4.18 に示すNO3 供試体は作用荷重が2 t f 以下の範囲では、上側孔位置を固定とした場合の計算結果とほぼ一致し2 t f 以上では埋め込み鋼板下端を固定点とした場合の計算結果とほぼ一致した挙動となっている。この結果からNO1、NO2 供試体はNO3 供試体と比較した場合フーチングとの定着が十分でないことを示している。しかし、フーチングの補強が十分でなかったことによる影響も考えられるため埋め込み深さの効果であるかは、はっきりしない。また、鋼柱埋め込み部の鋼板のひずみ分布から、NO1 供試体の最下段のひずみ(図-4.4.10)は、作用荷重が1.1 t f ~1.9 t f の間を境に勾配が変わり、ひずみが増加していることが分かる。これは、作用荷重1.1 t f ~1.9 t f の間で鋼板に設置した孔とコンクリートとの付着破壊がおき、その後鋼板とコンクリートとの支圧により抵抗するがフーチングと十分定着されていないため、鋼板下端とコンクリートが当たり鋼板に大きなひずみが発生しているためと考えられる。これに対しNO3 供試体のひずみ(図-4.4.12)は作用荷重1.5 t f ~2.0 t f の間に付着破壊が発生したと思われる挙動を示しているが、その時点でコンクリートの圧縮ひずみは発生していない。鋼とコンクリートとの支圧は4.5 t f 以降に発生している。これは一度付着破壊が発生したものの再度機械的な引っかかりにより抵抗しているか、埋め込み深さが深いためにコンクリートと鋼の摩擦抵抗により抵抗しているものと考えられる。

### (3) 耐荷機構

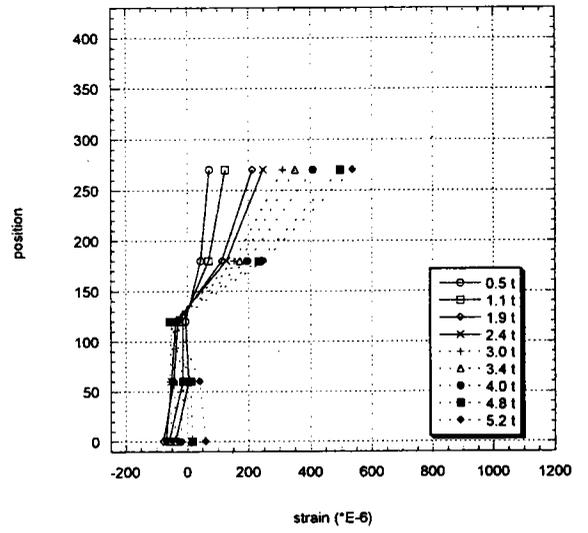
水平力をフーチングに伝達するメカニズムとして以下の3点が上げられる。

- ・有効鋼板とコンクリートの接着的な抵抗による付着力
- ・有効鋼板とコンクリートの機械的な抵抗による付着力
- ・有効鋼板とコンクリートの支圧

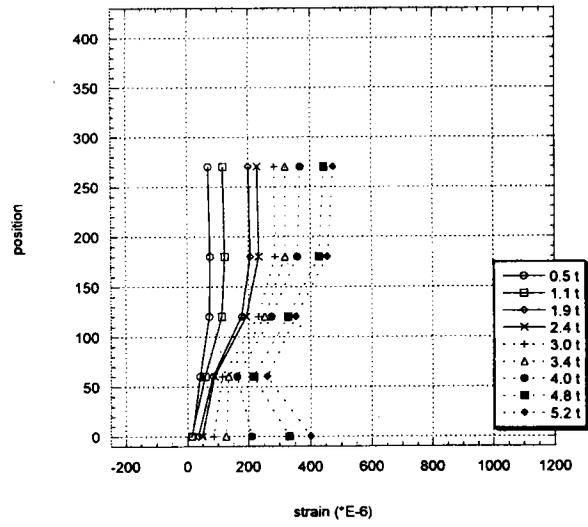
低荷重時は接着的な抵抗による付着力により伝達されるが小さい値であるため荷重が大きくなるに従い機械的な抵抗による付着力に移行する。その後せん断すべりが発生し付着破壊に至る。付着破壊後も荷重を大きくすると今度は、有効鋼板とコンクリートの支圧により摩擦力や機械的付着が発生し水平力を伝達する。フーチングは支圧力を受けると幅の狭い鋼柱の横からクラックが発生し破壊に至る。このことから終局荷重に対しフ



Strain distribution (no.1 034-038)



Strain distribution (no.1 045-049)



Strain distribution (no.1 050-054)

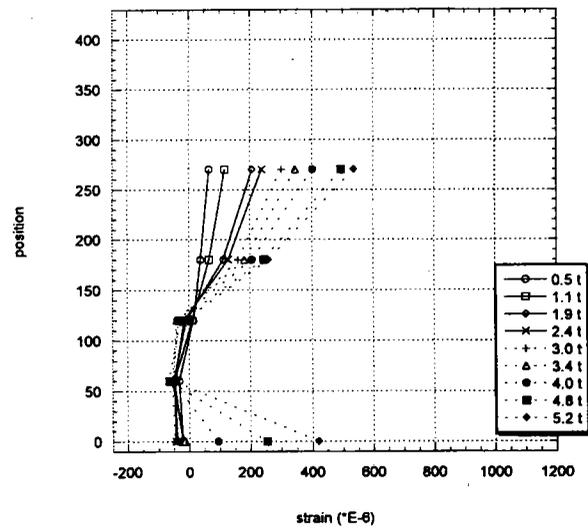
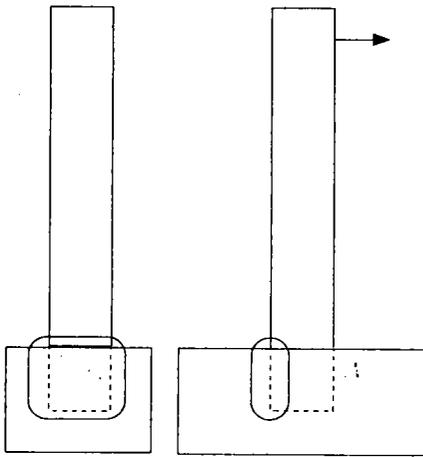
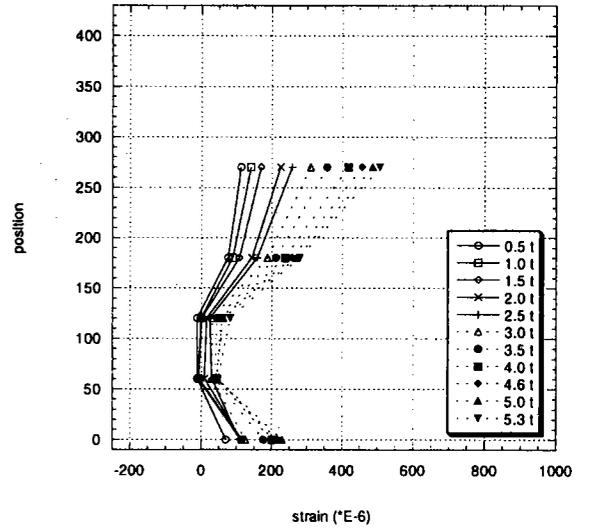


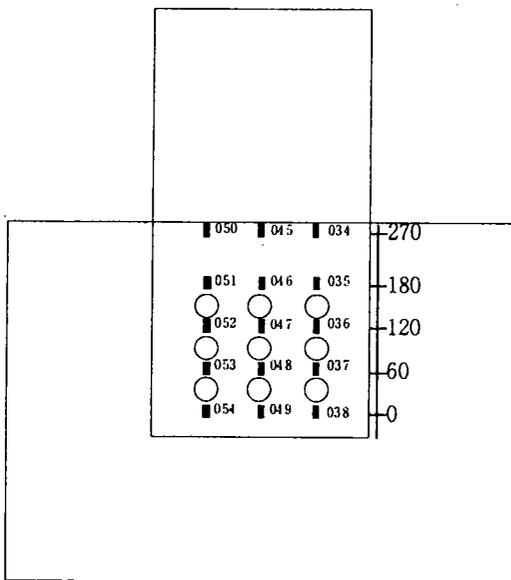
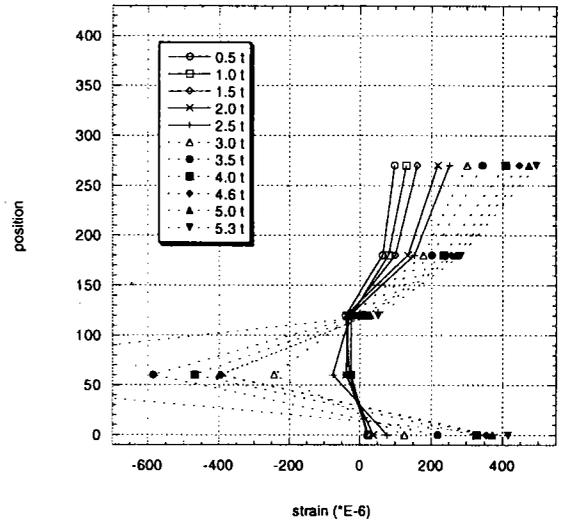
図-4.4.10 鋼柱埋め込み部引張側ひずみ分布図 (no. 1)



Strain distribution (no.2 034-038 5.2)



Strain distribution (no.2 045-049 5.2)



Strain distribution (no.2 050-054 5.2)

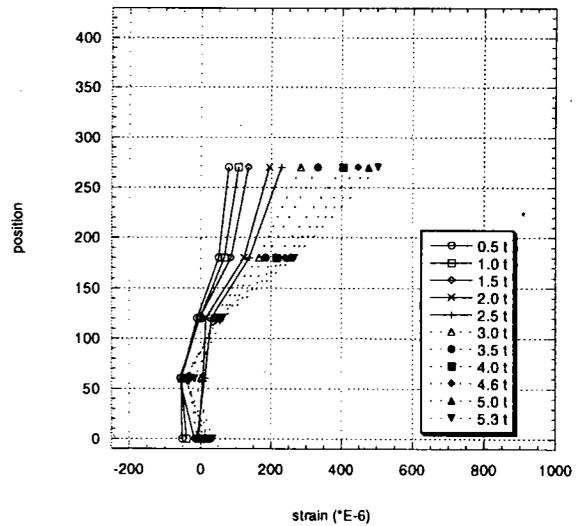


図-4.4.11 鋼柱埋め込み部引張側ひずみ分布図 (no. 2)

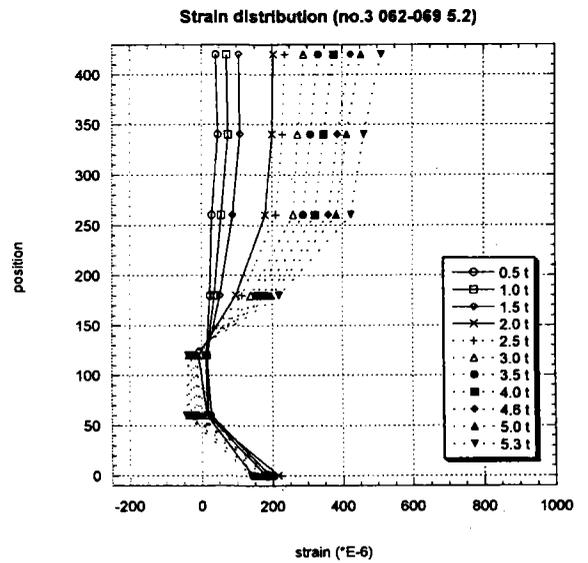
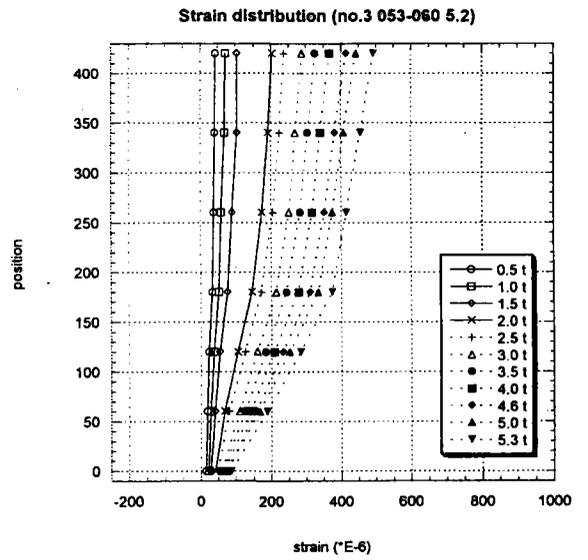
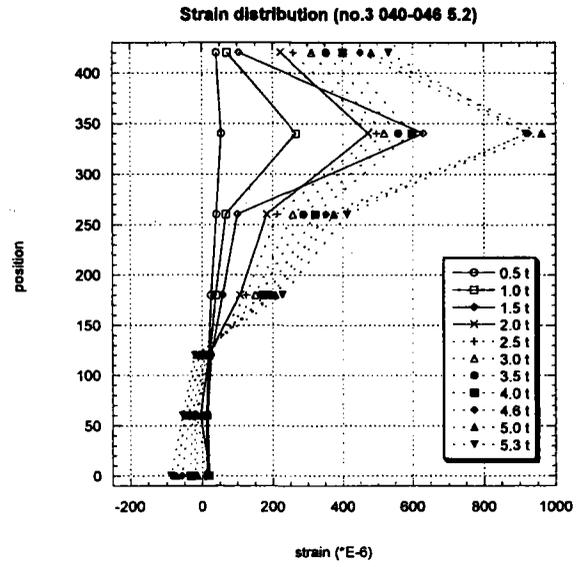
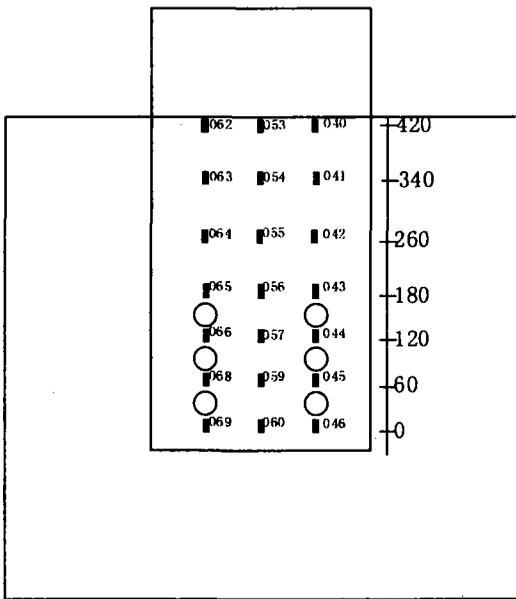
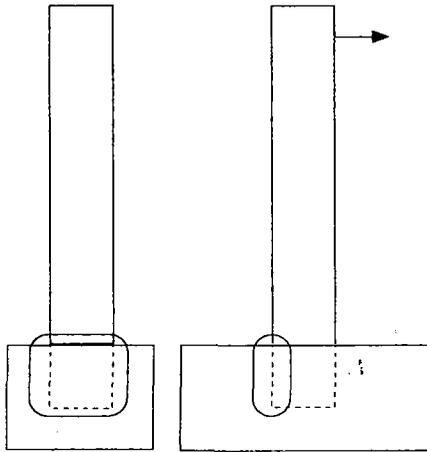
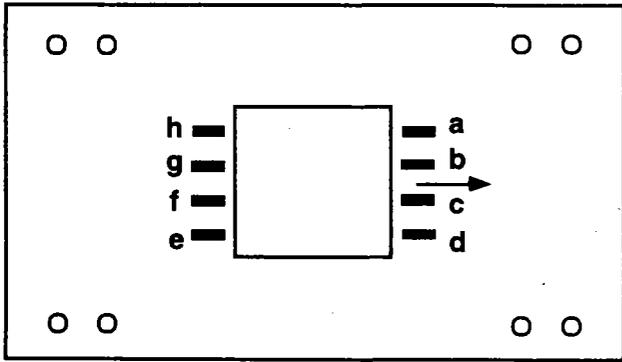
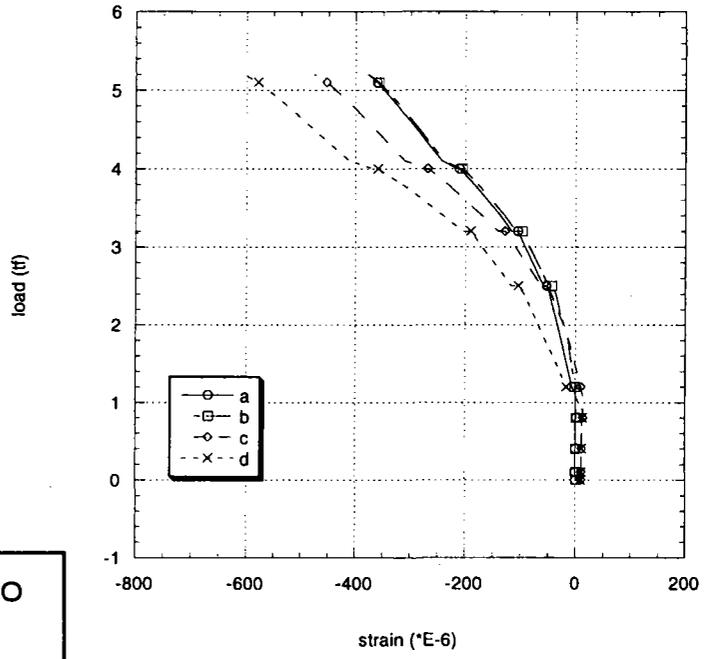


図-4.4.12 鋼柱埋め込み部引張側ひずみ分布図 (no. 3)



load-strain (no.1 3\*2 1.0D)



load-strain (no.1 3\*2 1.0D)

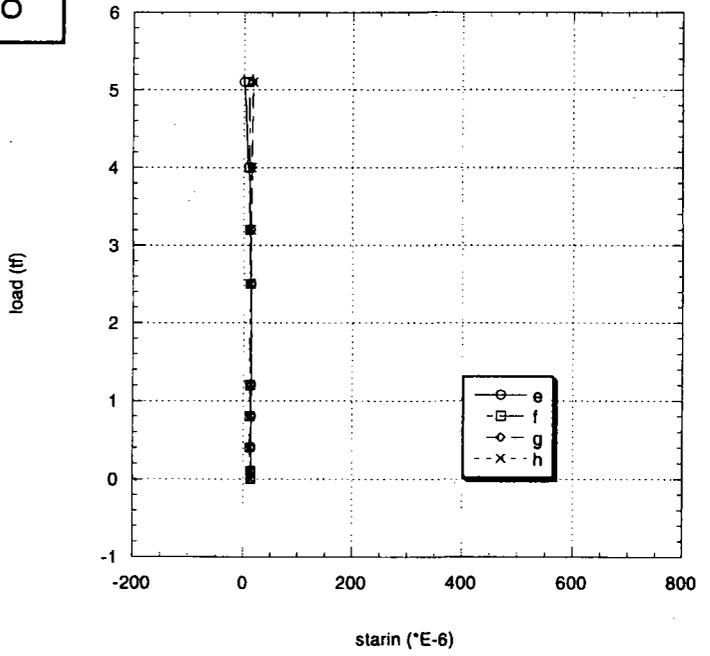


図-4.4.13 フーチング表面コンクリートひずみ分布図 (no. 1)

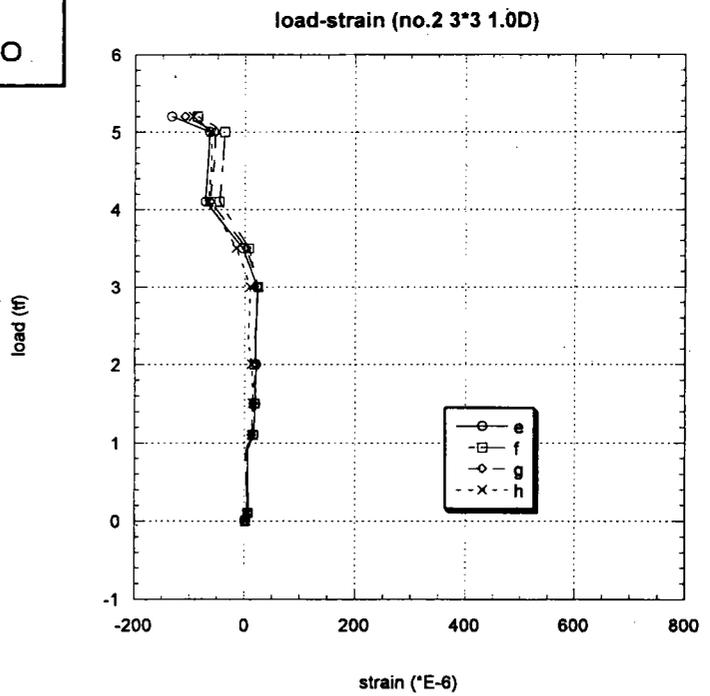
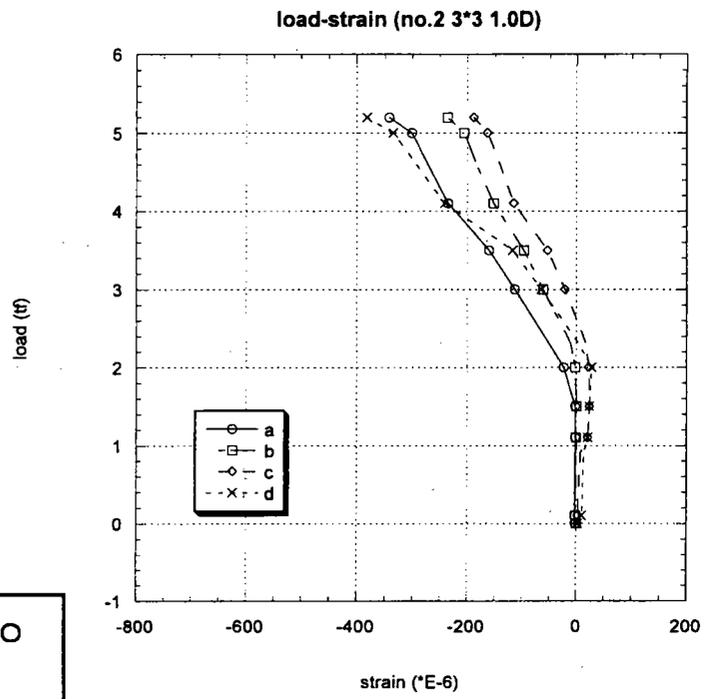
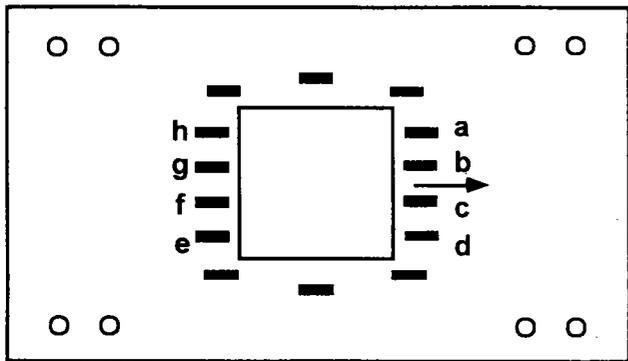
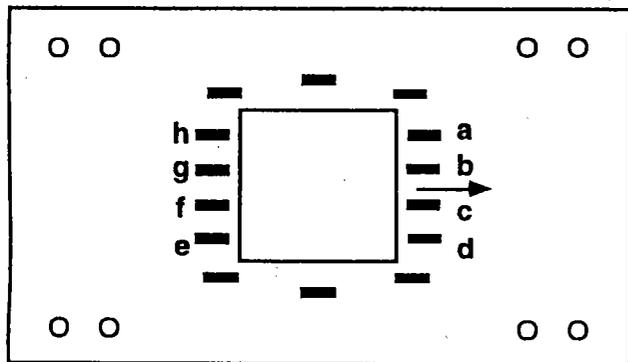
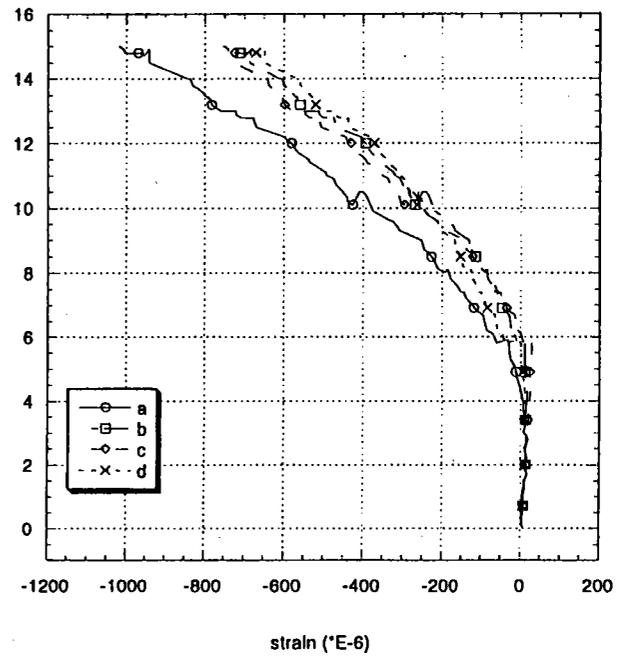


図-4.4.14 フーチング表面コンクリートひずみ分布図 I (no. 2)



load (tf)

load-strain (no.3 3\*2 1.5D)



load (tf)

load-strain (no.3 3\*2 1.5D)

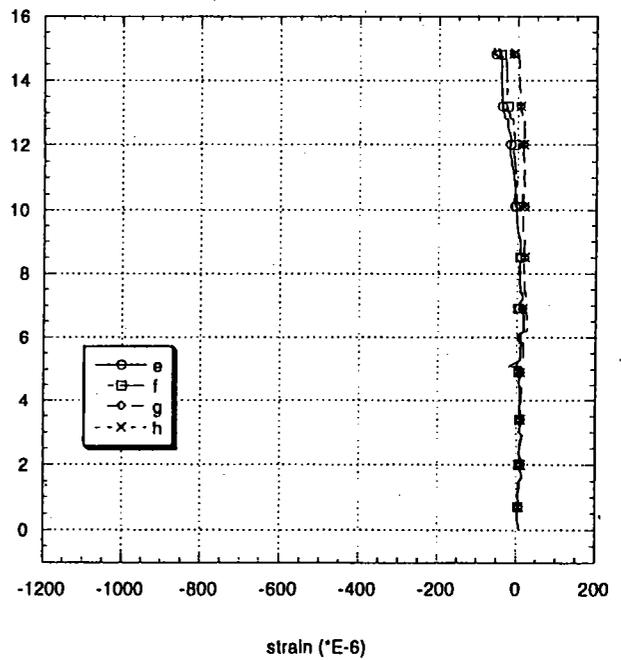


図-4.4.15 フーチング表面コンクリートひずみ分布図 I (no. 3)

load-displacement (no.1 3\*2 1.0D)

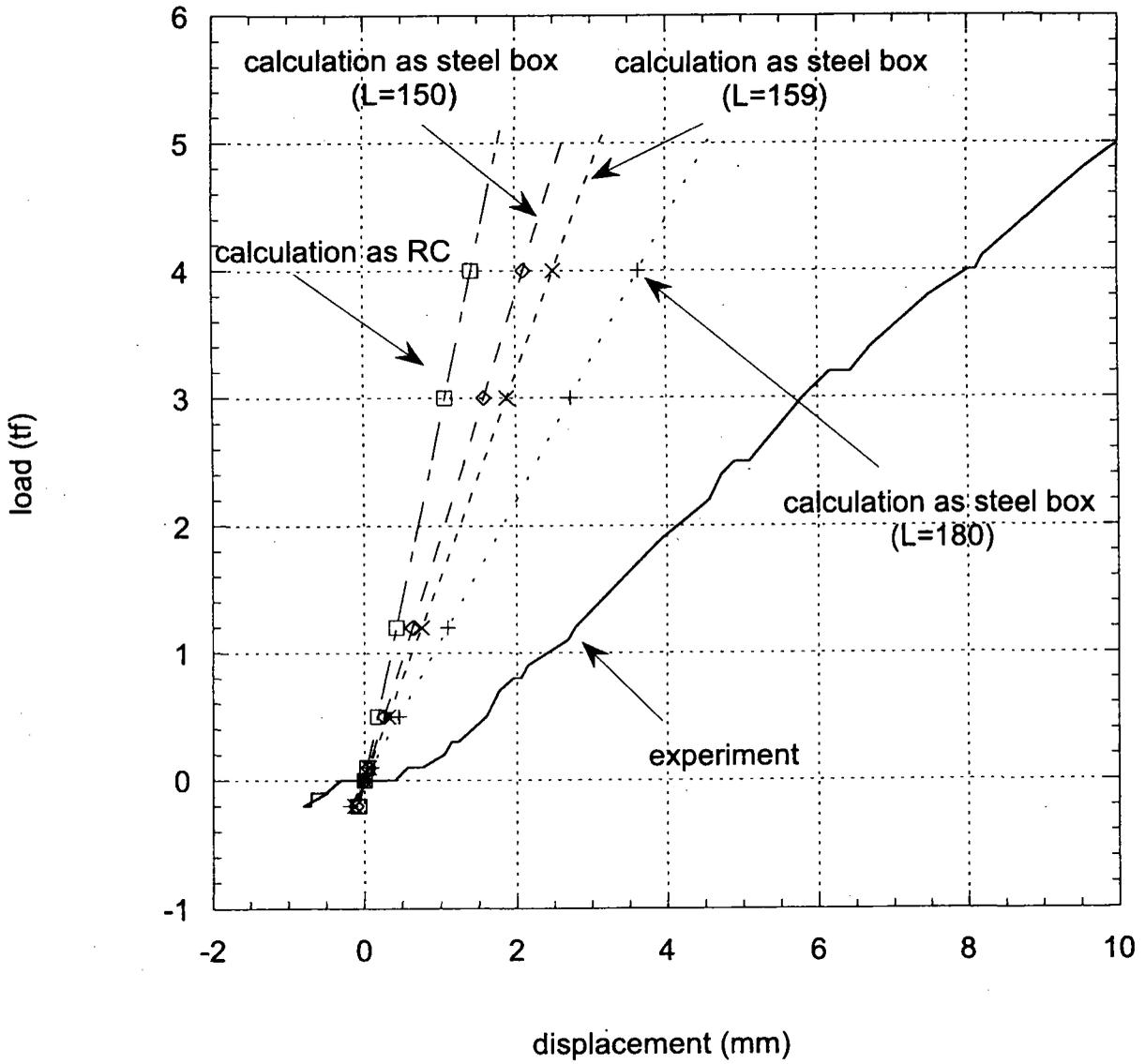


図-4.4.16 荷重-載荷点水平変位曲線 (no. 1)

load-displacement (no.2 3\*3 1.0D)

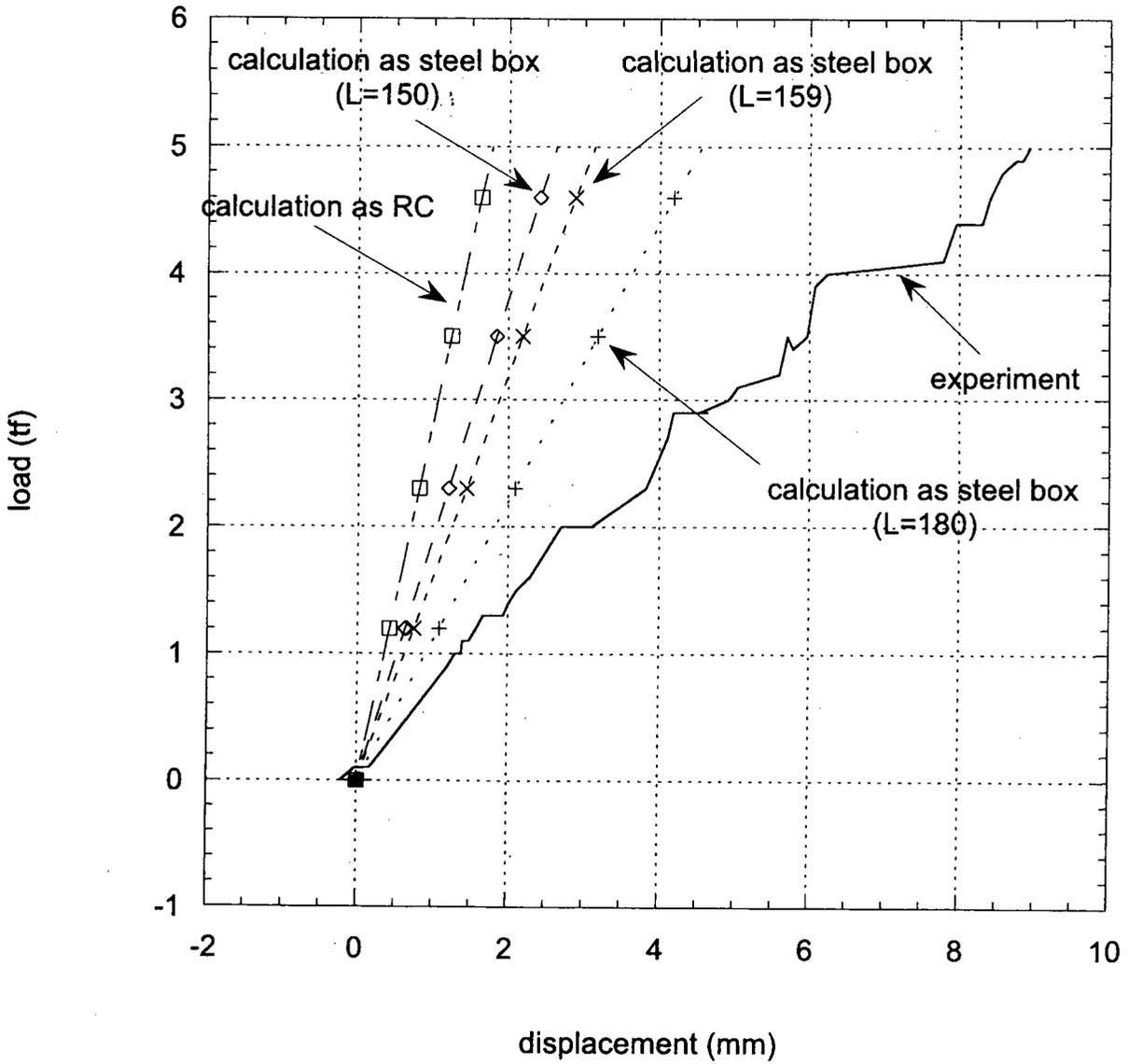


図-4.4.17 荷重-載荷点水平変位曲線 (no. 2)

load-displacement (no.3 3\*2 1.5D)

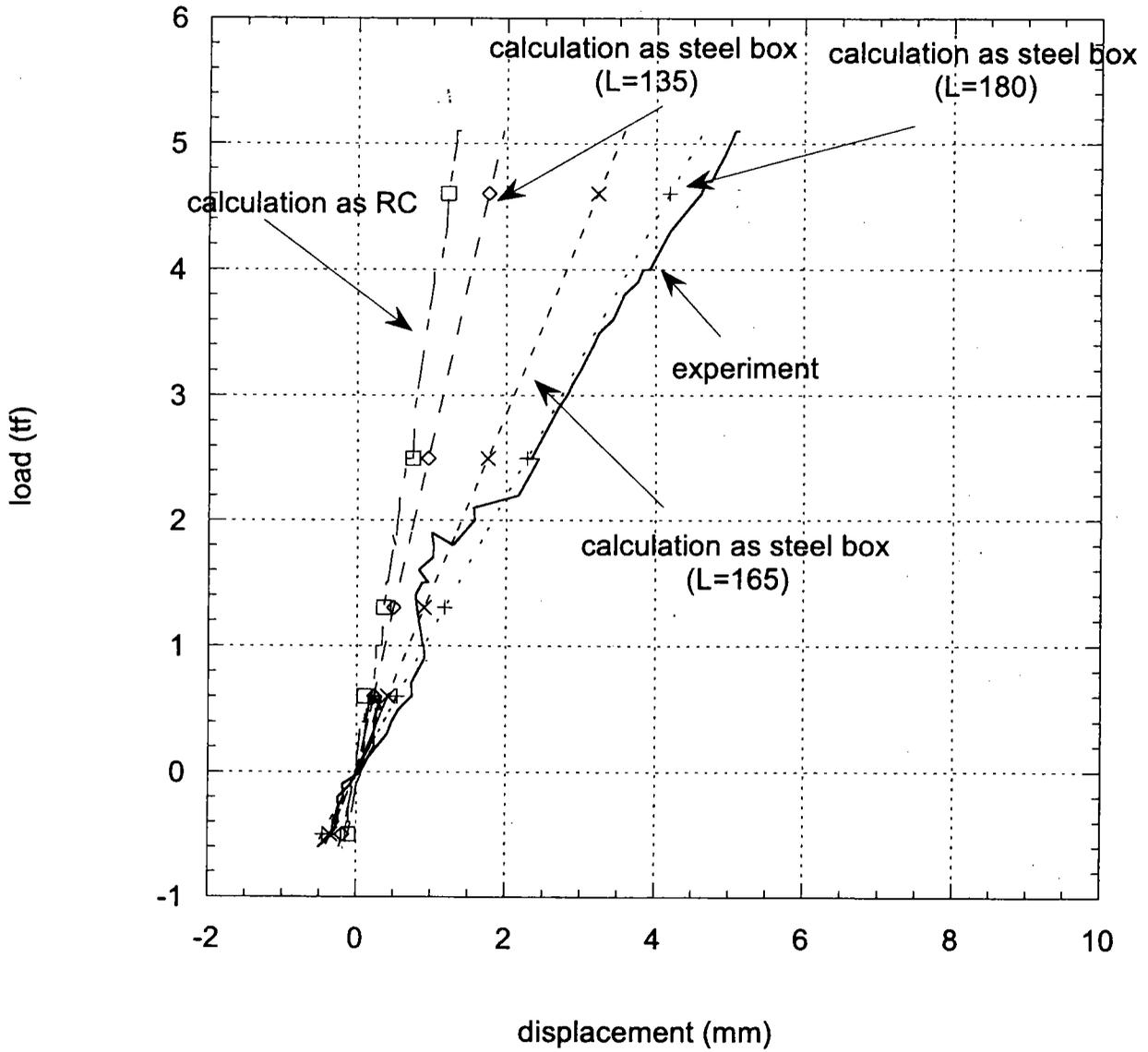


図-4.4.18 荷重-載荷点水平変位曲線 (no. 3)

ーチングの補強を十分に行う必要があると考えられる。

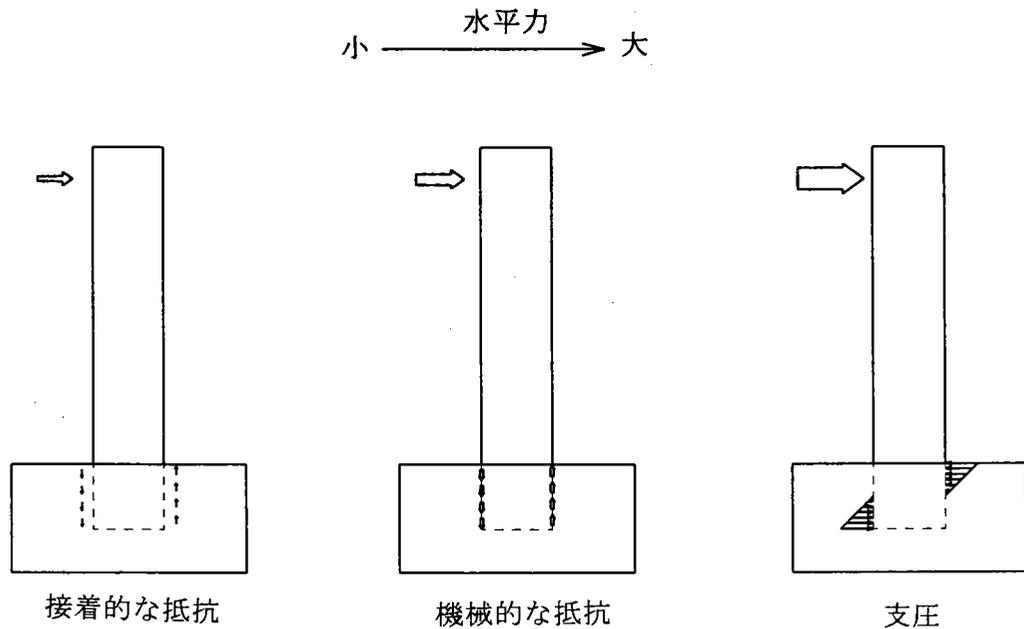


図-4.4.19 水平力伝達機構図

#### 4.4.4 まとめ

鋼管に孔を設けてフーチング部に直接埋め込む今までに実績のない複合構造形式が従来用いられているアンカーフレーム方式と同等以上の力学的性能を有しているか、また有孔鋼板による耐力への寄与および埋め込み深さによる応力伝達機構の解明といった基礎的な力学的性能を確認することを目的に実験を行った結果、つぎの結果と知見を得るに至った。

- 1) 有孔鋼板の付着力が耐力へ寄与していることが明らかとなった。しかし有孔鋼板の耐力を明確にするため孔のあいていないタイプの実験が必要であることがわかった。
- 2) 水平力は有孔鋼板の付着力によりフーチングへ伝達されていることがわかった。
- 3) 水平力は付着破壊が発生した後は、鋼とコンクリートの支圧によりフーチングへ伝達されることがわかった。
- 4) 終局耐力は、フーチングの強度が影響すると思われる。
- 5) 有効数および埋め込み深さの違いによる耐力への影響は明確とならなかった。フーチングの耐力に問題があり、フーチング強度の検討を行なった実験が必要と思われる。

## 4.5 今後の展望

鋼製橋脚のコンクリートフーチングへの固定方法は、吊橋におけるタワーの例を挙げるまでもなく、構造上明確とはいいがたいアンカーフレームが一般的に用いられている。そこで、鋼構造におけるコンクリートの活用の一例として「鋼製橋脚のコンクリートフーチングへの固定方法」を取り上げ、文献や実施事例より基部構造を分類し試設計や検討などを行う中で、以下に示すような要請に対し直接埋込み方式による簡易的な固定方法（定着構造）を提案した。

### 1) 力の伝達機構の明確さ

- ・荷重分担を無視して用いられたコンクリートに荷重の一部でも分担させること。
- ・鋼製橋脚からフーチングへの力の伝達機構が明確であること。

### 2) 輸送・架設の省力化

- ・施工が容易であり、経済的であること。

### 3) フーチングの小型化

- ・対象とする鋼製橋脚は、適用範囲がなるべく広く都市内の中小規模とすること。

直接埋込み方式は、鋼板とコンクリートを接合（付着）させるためにずれ止めを用いている。ずれ止めの形式としては種々が考えられるが、簡易な構造としてはスタッドあるいは有孔鋼板が妥当と考えた。どちらの場合でも実績のない（少ない）形式であることから、簡易モデルによる性能確認の実験を試みた。この結果を踏まえ今後の展望を述べる。

#### 4.5.1 力の伝達機構

有孔鋼板による直接埋込み方式が従来のアンカーフレーム方式と比べ、同等以上の力学的性能を有しているか今回の実験から明言できるものではないが、孔の効果が確認できたこと、力学的性能にはフーチング耐力の影響が大きいことなどの知見が得られた。フーチング耐力は、コンクリート表面付近の鋼板を孔明けして主鉄筋を連続化させることや鋼管下端に支圧力に抵抗するフランジを追加すること、押し抜きに抵抗するせん断鉄筋の補強などにより対応できると考える。また、付着力を伝達する方法として有孔鋼板のみでなくスタッドや一部スタッドを併用するなど、様々な形への広がり期待できる構造である。

実用化に向けては、動的載荷実験や解析による応力伝達機構の解明と設計法の確立など実証すべき種々の課題は残っているが、コスト縮減や省力化を行う上では有効な基部構造と考えられる。



図-4.5.1 スタッド、有孔鋼板による直接埋込み方式

#### 4.5.2 製作面

直接埋込み方式は製作面から見た場合、従来のアンカーフレーム方式に比べ、材変数や溶接量が飛躍的に減るとはいえ、スタッドの養殖や孔明け加工の手間が増える。大きなマイナス要因にはならないものと考えているが、孔明けの場合には以下の点に留意しておく必要がある。

孔明けの方法には①シアーによる打抜き、②電気ドリル、③ガーダードリル、④自動ガス切断、⑤レーザー切断、⑥プラズマ切断があるが、適応可能な板厚や孔径の制限がある。対象としている中規模鋼製橋脚の板厚として30 mm～40 mm程度を想定すると、ガーダードリルとプラズマ切断が対応可能であるが、プラズマ切断では適用板厚が30 mm以下である。また、ガーダードリルはスタッドを養殖するより工数のかからない方法であるが、最大孔径がφ55 mmであり太径の鉄筋を差し込む場合は対応できない。

#### 4.5.3 輸送・架設面

アンカーフレーム方式に比べアンカー部材と脚柱部材を一括で架設できるため、コスト縮減や省力化を図る上で有効と考えられる。一方で、輸送するブロック長に見合った据え付け精度（平面的な位置合わせや鉛直度など）を確保する工夫が必要となる。これに関しては、コスト縮減や省力化を図る上では柱頭部ブロックでの誤差吸収や施工誤差の見直しなどの新しい取り組みが必要と考えている。

### 4.6 文献リスト

#### 【合成構造関連】

- 1) 中井、北田、吉川：コンクリートを充てんした鋼製角形柱の鋼板要素の一設計法、土木学会論文集第356号、I-3、1985年4月
- 2) 吉田、石橋、梅田、工藤：繰り返し曲げを受ける合成鋼管柱の変形性能に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.2、1993
- 3) 土木学会：合成柱を有する橋脚の柱・フーチング接合部に関する実験的研究、土木学会第45回年次学術講演会、平成2年9月
- 4) 葛、宇佐美：コンクリートを部分的に充填した鋼箱形断面柱の終局強度と変形能に関する解析的研究、土木学会論文集第513号、I-31、1995年4月
- 5) 佐藤、渡辺、西川、市川：兵庫県南部地震で被災したRC柱の鋼板巻き補強効果」特別講演、第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、1995年11月
- 6) 篠崎、三上、岡本、水谷：鋼管を用いた合成構造橋脚定着部の耐荷性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18、No.2、1996
- 7) 安原、村田、木下：コンクリート充填鋼管の埋め込み柱脚に関する実験的研究、土木学会第51回年次学術講演会、I-A430、平成8年9月
- 8) 篠崎、三上、岡本、水谷：鋼管を用いた合成構造橋脚定着部の耐荷性状、土木学会第51回年次学術講演会、V-613、平成8年9月

### 【鋼板による直接定着方式関連】

- 1) 新日本製鐵(株)：鋼製エレメント合成構造橋脚カタログ
- 2) 日本道路公団名古屋建設局 伊勢湾岸工事事務所：伊勢湾岸道路カタログ、平成7年10月
- 3) 日本道路公団試験研究所橋梁研究室、新日本製鐵(株)：鋼製エレメントによる高橋脚の施工法の開発、平成7年3月
- 4) 緒方、村山、沖本、今西：鋼製エレメントとコンクリートとの付着性能に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.2、1994
- 5) 高、呉、町田、西海：不連続有限要素解析法を用いた有孔鋼板とコンクリートの付着の特性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集

### 【異形棒鋼によるアンカー方式関連】

- 1) 名古屋高速道路公社：鋼製橋脚 直接定着方式の設計指針(案)
- 2) 名古屋高速道路公社：極太異形棒鋼 D120 の橋脚アンカーへの適用例
- 3) 前野、後藤、小畑、松浦：鋼製橋脚の新しい定着方法について、第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集 1989年9月
- 4) 前野、後藤、小畑、松浦：引き抜き力を受ける付着型アンカーボルトの定着部の破壊機構に関する研究、土木学会論文集 NO.441、I-18、1992.1
- 5) 前野、後藤、小畑、松浦：スタッドを取り付けた太径異形棒鋼の付着特性、土木学会論文集 NO.441、I-18、1992.1
- 6) 住友金属(株)：極太異形棒鋼を用いた鋼製橋脚の定着部構造の開発、社内誌、Vol.43 No7
- 7) 名公社、大日本コンサルタント(株)：直接定着方式アンカーボルト設計計算事例、市道高速2号黒川ランプ、平成5年1
- 8) 前野、塚上、永岡：付着型アンカーボルトを用いた鋼製橋脚定着部の現場付着試験、土木学会第48回年次学術講演会、平成5年9月
- 9) 名古屋高速道路公社、名古屋工業大学社会開発工学科：鋼脚柱定着部の合理化に関する研究(その1)昭和63年3月、(その3)平成2年3月

### 【その他関連】

- 1) 基礎工：多径間連続橋・下部工の設計と施工、1993.1
- 2) 橋梁と基礎：東京湾横断道路・沖合部橋梁下部工の設計と施工、1993.2
- 3) 橋梁と基礎：荒川湾岸橋の設計と施工計画、1974-8
- 4) 本州四国連絡橋公団、大日本コンサルタント(株)：埋込みタワーの検討、来島大橋実施予備設計報告書、昭和49年
- 5) 財団法人 首都高速道路技術センター：鶴見航路橋の設計施工に関する調査研究(平成元年度)報告書、平成2年3月
- 6) 日本道路公団：ボスボラス橋図面、1985.3