

線路上空建築物を対象とした小口径鋼管群杭基礎工法の実験的研究

尻無濱昭三*1

概 要

線路上空建築物は、建築物が線路を跨ぐ架構形式となるために、基礎構造に関しては、1柱1杭方式の杭基礎とする場合が多く、場所打ちコンクリート杭が採用されている。杭基礎の築造に当たっては、線路近傍という特殊な施工環境下で、様々な制約を受ける。そこで、本稿は、基礎工事の合理化を目指して実施した複数の小口径鋼管杭で構成された群杭基礎工法の柱 - 杭間の接合部構造実験(小口径鋼管杭と鋼管柱を繋ぐ接合部)について報告するものである。

キーワード：線路上空建築物・鋼管杭・群杭基礎・小口径・接合部実験

EXPERIMENTAL STUDY ON THE MORTAR-FILLED SLEEVE JOINTS BETWEEN COLUMN
AND GROUP PILE FOUNDATION CONSISTING OF SMALL-DIAMETER PIPES
FOR OVER-TRACK BUILDINGS

Shozo SHIRINASHIHAMA *1

Abstract

Foundations of buildings constructed over railway tracks are often designed with one column and one concrete pile cast in place. The special work condition in the vicinity of the site to tracks imposes various restrictions upon the construction of a foundation pile. This paper reports an experiment conducted for rationalizing the foundation construction process. It is a structural experiment of the sleeve joint between steel pipe column and small-diameter steel pipes of group pile foundation.

Keywords: Over-track building, Steel pipe pile, Group pile foundation, Small diameter, Experiment of joint

*1 Manager, Architectural Technology Group, Architectural Department, Architectural Division

線路上空建築物を対象とした小口径鋼管群杭基礎工法の実験的研究

尻無濱昭三*1

1. はじめに

線路上空に建築物を構築する際、作業スペースや作業時間等、様々な制約を受ける事例が多い。特に、建築物が線路を跨ぐ架構形式となることから、地中梁を設け難く、1柱1本の杭基礎とする場合が多い。その際、杭には場所打ちコンクリート杭のTBH工法が採用され、鉄骨柱を杭へ埋込み、コンクリートを打設することにより一体化した埋込み柱脚(または鋼管巻き補強柱脚)となっている。中低層の線路上空建築物では、杭径が2m程度となり、掘削、鉄筋籠の建入れ、コンクリート打設等の杭工事で、非常な手間とコストが掛かっている。

そこで、場所打ち杭に替わり、施工性、経済性の向上を目指して、鉄骨柱と鋼管杭を直接接合する工法が提案されており、ここでは、さらに、複数の小口径鋼管杭で構成された群杭基礎(図-1参照)へ適用拡大する構造について検討を行う。小口径鋼管杭と鋼管柱を繋ぐ接合部は、鋼製フーチングとしてH形鋼を用い、H形鋼の先端に杭を配置し、杭との接合は、柱-梁接合部や杭頭部の施工の合理化を目指して、近年、開発されているコンクリート充填型のソケット方式の接合^{2),3)}(小口径鋼管杭と接合用外鋼管の間にコンクリートやモルタルを充填する方式)を採用し、現場での溶接作業の削減と鋼管杭の施工誤差の吸収を図っている。

本稿は、ソケット方式による接合部の基本的な性能(応力伝達能力、変形性能等)を把握することを目的に実施した接合部実験の実験結果について報告する。

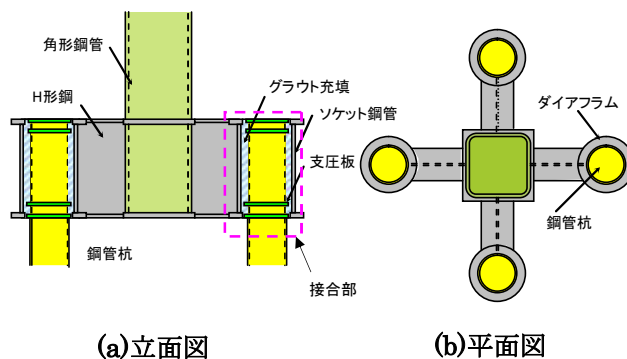


図-1 小口径鋼管群杭基礎工法 of の概念

2. 接合部実験の概要

接合部実験は、ソケット式の外殻鋼管(ソケット鋼管)に鋼管杭が挿入され、その間にモルタルが充填された二重鋼管形式の接合部を対象とした。実験は、鋼管杭に設けた支圧板とソケット鋼管のダイアフラム間で充填モルタルを介した応力伝達機構を確認するための圧縮試験(押し抜き加力)と、鋼管杭に水平力が加わった場合を想定した曲げせん断試験の2種類の試験を実施した。

2.1 圧縮試験

試験体の諸元を表-1に、試験体の形状を図-2に示す。使用した鋼管杭は、STK400で、本工法で使用する最大径を $\phi 406.3\text{mm}$ と想定しており、試験では、面積換算76.6%の $\phi 355.6\text{mm}$ の鋼管杭とし、ソケット鋼管は、 $\phi 588.8\text{mm}$ とした。試験は、鋼管杭に設けた支圧板の個数(1~3)とソケット鋼管内への鋼管杭の埋め込み長さ(杭径比1.5, 2.0)、鋼管杭の偏心(60.6mm)の有無を因子として5ケース実施した。表-2に杭材の力学特性を示す。その他の支圧板やダイアフラムはSS400材とした。充

*1 建築本部 建築部 建築技術グループ 課長

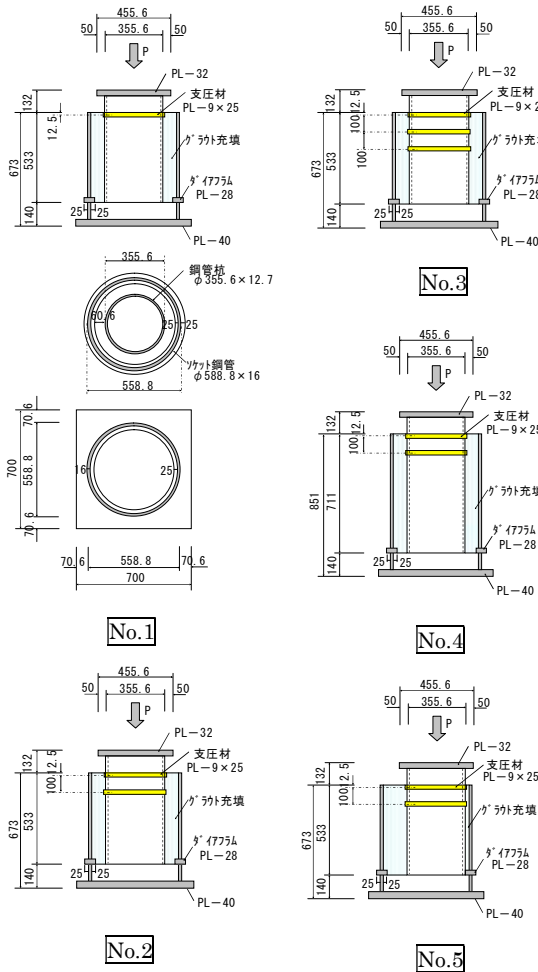


図-2 圧縮試験の試験体

填モルタルは圧縮強度 42N/mm^2 を想定し、試験時は表-3の値となった。

载荷は、静的な単調载荷として、荷重低下が確認できるまで载荷した。計測は、鋼管杭の軸変形を変位計で、ソケット鋼管の歪みを歪みゲージにより測定した。

2.2 圧縮試験結果

各試験体の荷重と軸変形の関係を図-3に示す。図中に弾性限耐力および最大耐力の実験値を示す。弾性限耐力は、接線剛性が初期剛性の1/3に低下した荷重点とした。また、圧縮試験による最大耐力を表-4に示す。

図-3(a)に示す支圧板の個数をパラメータとした結果からは、支圧板の個数が増えると最大耐力も増加する傾向が確認できる。荷重-変位関係からは、支圧板が3個の試験体No.3は、その他の試験体とは様相が異なるが、最大荷重後に鋼管杭の提灯座屈が発生したために荷重が

表-1 試験体の諸元(圧縮試験)

試験体	鋼管杭				ソケット鋼管		ダイヤフラム		支圧板	
	断面	埋め込み長	杭径比 (mm)	偏心	断面	PL (mm)	内部側出 (mm)	形状	個数	配置
No.1	φ355.6	×12.7	1.5	533	φ588.8	×16	28	25	9×25	1
No.2			2.0							2
No.3			1.5							3
No.4			2.0							2
No.5			1.5							2

表-2 杭材の力学特性

部位	鋼種	降伏強さ (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	ヤング係数 ×10 ⁵ (N/mm ²)
鋼管杭 φ355.6×12.7	STK400	378	446	31.6	1.82
ソケット鋼管 φ588.8×16	STK400	380	455	32.1	1.77

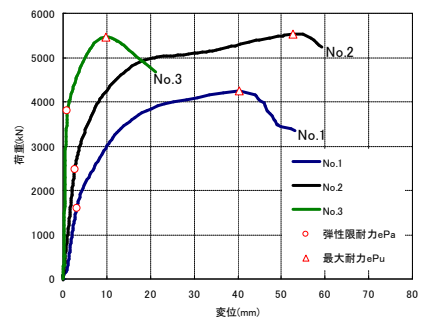
※降伏点は上昇伏点とした。明瞭な降伏点が見られない場合は0.2%オフセット耐力とした。(STK400)
 ※0.2%オフセット耐力算出時のヤング係数は、P値の1/3~2/3の値での剛性とした。

表-3 充填モルタルの圧縮強度

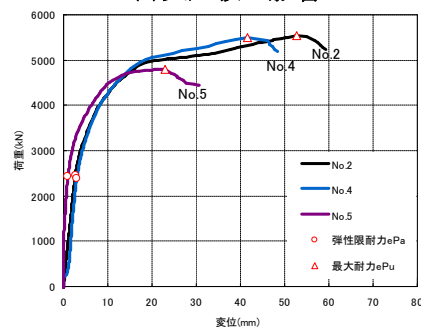
部位	材齢	圧縮強度 (N/mm ²)
接合部	28日	44.8
	39日	45.8
鋼管内	55日	45.9

表-4 圧縮試験による最大耐力

試験体	実験値			備考
	弾性限耐力 eP_a (kN)	最大耐力 eP_u (kN)	eP_u / eP_a	
No.1	1602	4250	2.65	
No.2	2461	5532	2.25	最終的に鋼管杭が座屈
No.3	(3798)	5470	(1.44)	鋼管杭が座屈
No.4	2382	5507	2.31	最終的に鋼管杭が座屈
No.5	(2424)	4794	(1.98)	



(a)支圧板の影響



(b)鋼管杭の埋め込み長と偏心の影響

図-3 荷重-変位の関係

低下したものである。

図-3(b)に示す鋼管杭の埋め込み長に関しては、支圧板が2個の試験体 No.2 と No.4 が同様な性状を示しており、鋼管杭の埋め込み長が、杭径比が 2.0 倍になっても、最大耐力に若干の差異が確認される程度である。同様に鋼管杭に偏心がある場合は、最大耐力はやや小さいものの弾性限耐力から最大耐力に至る荷重変形関係は、同様な傾向を示している。

図-4 にソケット鋼管の主応力度分布図を示す。支圧板の個数をパラメータとした試験体 No.1, No.2, No.3 について見ると、円周方向の引張応力度は、最下段の支圧板近傍の応力度が大きく発生している。試験体 No.1 は最上段の歪みゲージ H1(H4)、試験体 No.2, No.3 は中央の歪みゲージ H2(H5)位置で応力が発生している。鉛直方向の圧縮応力度は、最下段の支圧板の直下の位置から徐々に下部に向かって減少しているが大きな差はない。また、最大荷重時には、その分布とはなっていない(試験体 No.2 の中央位置が最小応力度)。なお、提灯座屈した試験体 No.3 については、鉛直方向の圧縮力は最下段位置の応力度しか顕著に発生していない。載荷荷重方向(鉛直方向)に対しては、全ての試験体で圧縮応力が載荷荷重の直角方向(ソケット鋼管の円周方向)に引張応力が働いている。これは、鋼管杭に取り付けられた支圧板からモルタルを介してソケット鋼管に力が流れていると推測される。主応力度分布の発生状況から、力の伝達は、支圧板により発生する圧縮ストラットが起因していると考えられる。

試験体の耐力は、鋼管杭に取り付けられた支圧板と、ソケット鋼管に取り付けたダイアフラム間に圧縮ストラットが形成されると仮定し、鋼管杭の上部に設置した支圧板による接合部の応力伝達機構を圧縮ストラットの効果として検討する。圧縮ストラットの有効支承面積を支圧板から 45 度に広がった領域(図-5 参照)と仮定し、圧縮ストラットの有効耐力を式(1)により求める。その際のモルタルの支圧強度の評価は、

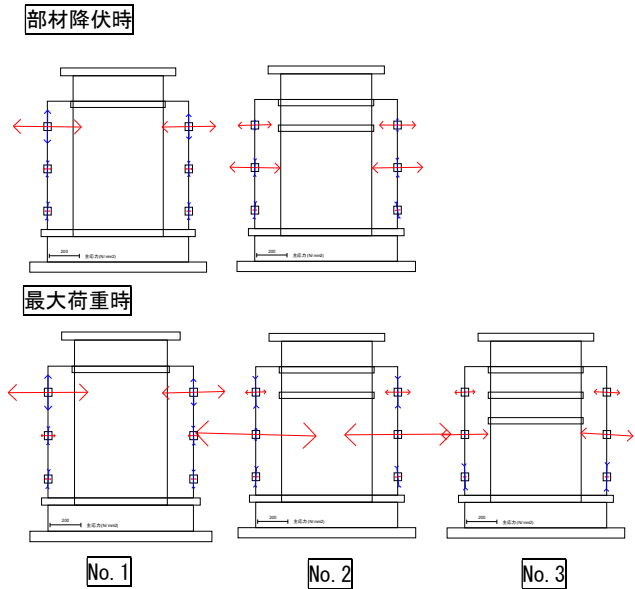


図-4 ソケット鋼管の主応力度分布

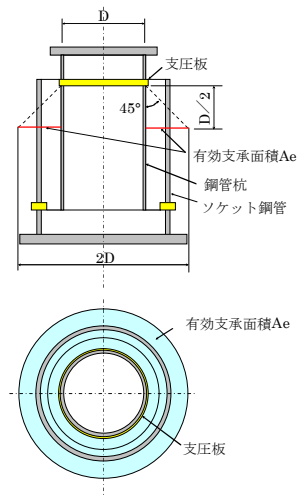


図-5 圧縮ストラットによる有効耐力の考え方

$$\begin{aligned} \text{cal } P_a &= Fc' \cdot \min({}_I A_R, {}_O A_R) \\ Fc' &= Fc \cdot \sqrt{\frac{Ae}{\max({}_I A_R, {}_O A_R)}} \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、

- cal P_a : 圧縮ストラットの有効耐力
- Fc' : モルタルの支圧強度 $\leq 10 \cdot Fc$
- ${}_I A_R$: 鋼管杭支圧板の総面積
- ${}_O A_R$: ソケット鋼管支圧材の総面積
- Fc : モルタルの圧縮強度

各種合成構造設計指針 4)に準拠し、既往の報告 5)を参考に求める。

表-5に各試験体の弾性限耐力および最大耐力の実験値を示す。弾性限耐力 eP_a と圧縮ストラットで評価した耐力 $calP_a$ との比は、試験体 No.1 は、安全側の値となっているが、その他の試験体について推定値と実験値は、概ね良好な対応をしている(試験体 No.3 および No.5 は軸変形 1mm の時の参考値)。試験体 No.2~4 の最大耐力については、鋼管杭の材料から推定した耐力 5171kN を若干超える耐力となっているが、破壊状態を見ると材料による耐力で決定した耐力と推定できる。各試験体の最大耐力は、弾性限耐力の 1.44 倍以上であることから、終局状態においても圧縮ストラットの耐力で評価できると考えられる。

2.3 曲げせん断試験

試験体の大きさは、圧縮試験で用いた鋼管杭の約 1/2 縮尺モデルとした。試験体の諸元を表-6に示す。試験体の形状を図-6に示す。試験体数は2体で、両試験体ともソケット鋼管 $\phi 267.4 \times 9$ (STK400)、鋼管杭 $\phi 165.2 \times 6$ (STK400)、ダイアフラム 22×59 (出15mm 確保, SN400B)、H形鋼 BH-400 $\times 150 \times 9 \times 16$ (STK400)、支圧板 4.5×9 (SS400)、充填モルタル(1:2 モルタル)は圧縮強度 $42N/mm^2$ 程度を想定した。表-7に使用鋼材の力学的性質を、モルタルの圧縮強度を表-3に示す。

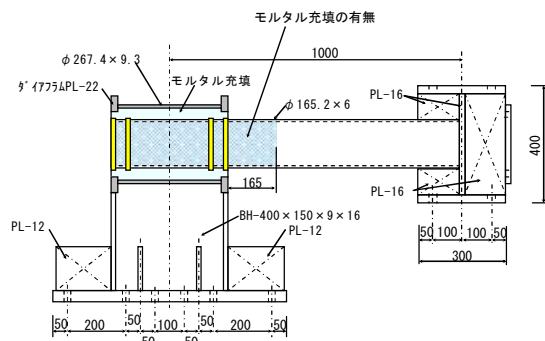
試験は、鋼管杭へのモルタル充填の有無とし、充填深さは杭径長さ分とした(165mm)。これは、ソケット鋼管の端部で曲げを受けることから、モルタル充填の有無による鋼管杭の局部座屈が及ぼす影響について確認した。なお、鋼管杭の埋め込み長(400mm)および支圧板の個数(2個)は同一とし、図-6に示す載荷梁に取り付けた 500kN ジャッキにより正負交番繰り返し載荷とした。サイクルは変形角 $R = \pm 1/400$ を1回、 $\pm 1/200$, $\pm 1/100$, $\pm 1/67$, $\pm 1/50$, $\pm 1/33$, $\pm 1/25$ をそれぞれ2

表-5 耐力評価結果一覧

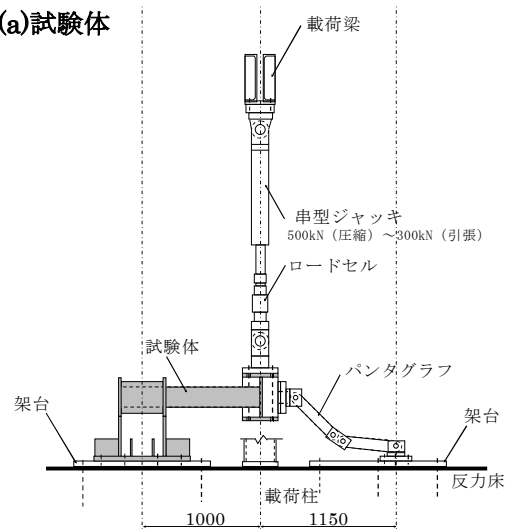
試験体	実験値			推定値			備考
	弾性限耐力 eP_a (kN)	最大耐力 P_u (kN)	eP_u / eP_a	F_c / F_c	圧縮ストラット耐力 $calP_a$ (kN)	$eP_a / calP_a$	
No.1	1602	4250	2.65	2.70	1247	1.28	
No.2	2461	5532	2.25		2494	0.99	最終的に鋼管杭が座屈
No.3	(3798)	5470	(1.44)		3741	(1.02)	鋼管杭が座屈
No.4	2382	5507	2.31		2494	0.96	最終的に鋼管杭が座屈
No.5	(2424)	4794	(1.98)		2494	(0.97)	

表-6 試験体の諸元(曲げせん断実験)

試験体	鋼管杭			ソケット鋼管	ダイアフラム		支圧板	鋼管杭のモルタル充填	
	断面	埋め込み長 杭径比 (mm)	(mm)	断面	PL 内部側出 (mm)	形状	個数		
J-1	$\phi 165.2 \times 6$	2.4	400	$\phi 267.42 \times 9$	22	15	4.5×15	2	無
J-2									有



(a)試験体



(b)載荷装置

図-6 試験体および載荷装置

表-7 使用鋼材の力学特性

部位	鋼種	降伏強さ (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	ヤング係数 $\times 10^5$ (N/mm ²)
鋼管杭 $\phi 162.5 \times 6$	STK400	398	474	31.8	2.03
ソケット鋼管 $\phi 267.4 \times 9$	STK400	358	439	34.3	2.07
梁ウェブ PL-9	SN400B	387	538	30.2	2.07
梁フランジ PL-16	SN400B	406	532	31.9	2.04
接合部ダイアフラム PL-22	SN400B	343	507	31.9	1.83

※降伏点は上降伏点とした。明瞭な降伏点が見られない場合は0.2%オフセット耐力とした。(STK400)
※0.2%オフセット耐力算出時のヤング係数は、F値の1/3~2/3の値での剛性とした。

回繰り返した後、最後に押し切りとした。計測は、載荷点の全体変形、梁の変形、ベースプレートの回転角および鋼管杭端部の回転角を変位計で、ソケット鋼管、鋼管杭および梁のフランジとウェブの歪みを歪みゲージで測定した。

2. 4 曲げせん断試験結果

図-7に鋼管杭のせん断力(荷重)と変位の関係を示す。何れの試験体においても、鋼管杭の局部座屈により最大耐力が決定した(写真-1)。試験体 J-1 では、部材角 1/100(29.1kN)の時に、鋼管杭の脚部(ソケット鋼管との定着部)のモルタルと肌スキが開始し、2 回目の部材角 1/100(52.8kN)で肌スキが顕著になった。部材角 1/67(68.1kN)の時にモルタルにひび割れが発生した。部材角 1/33(83.6kN)の時に、鋼管杭脚部上面に鋼管部に膨らみが発生し、2 回目の部材角 1/33の時に、鋼管杭脚部下面に座屈が確認された。

図-8に部材角 1/33 時の主応力分布図を示す。鋼管杭の円周方向に引張応力度が発生し、鋼管杭の座屈開始時と一致することが分かる。さらに荷重を上げていくと部材角 1/25 で荷重 84.2kN となった。鋼管杭の中にモルタルを充填した試験体 J-2 に於いても、同様な傾向を示し、最大荷重として、部材角 1/25 の時点で 85.1kN となった。鋼管杭の中にモルタルを充填した試験体 J-2 と充填していない試験体 J-1 を比較してみると、図-7の鋼管杭のせん断力と変位の関係から、耐力および剛性に差がないことが分かる。また、載荷後の試験体 J-2 の内部モルタルに顕著なひび割れが発生していないことから、鋼管杭内へのモルタルを充填したことによる差異はないと判断できる。

3. まとめ

線路上空建物を対象とした小口径群杭基礎工法に適用するソケット式の接合部の圧縮試験と曲げせん断試験の結果から、以下の知見を得た。

3. 1 圧縮試験

(1)支圧板およびダイアフラムを用いることで、

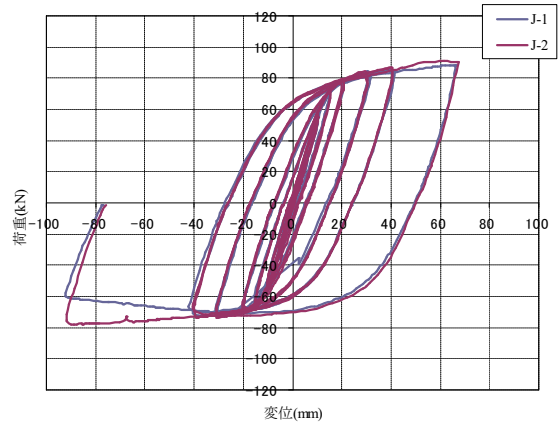


図-7 せん断力と変位の関係

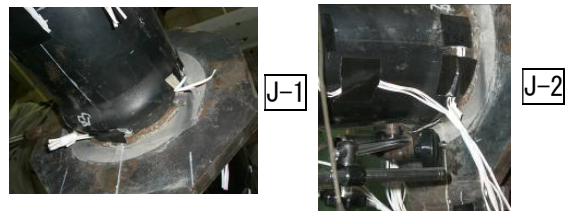


写真-1 鋼管杭の座屈状況

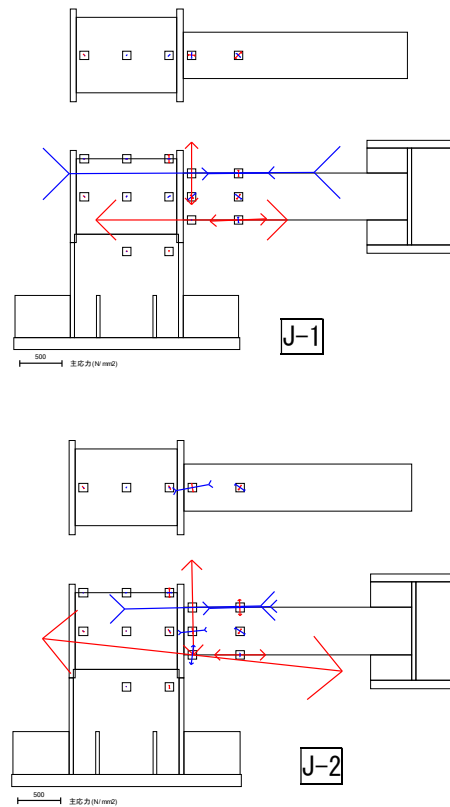


図-8 主応力分布図(部材角 1/33)

接合部を形成することができる。

- (2)鋼管杭の埋め込み長さを杭径比で1.5倍以上確保することで、圧縮ストラットを評価した提案式により、接合部の耐力を評価できる。
- (3)偏心がある場合は、若干の耐力低下が見られるが、圧縮ストラットの提案式で耐力評価できる。

3. 2 曲げせん断試験

- (1)軸力が載荷されていない状態であるが、鋼管杭中へのモルタル充填(接合部から1D, D:杭径の範囲)の有無は、せん断耐力に及ぼす影響は少ないことが分かった。

謝辞

本報告は、文献④を再構成したものである。関係者に謝意を表します。

参考文献

- 1)吉田宏一・松平孝雄・吉田勝之：旅客上屋の杭柱接合部に関する研究(その1),日本建築学

会大会学術講演梗概集(関東),C-1,pp.1019-1020, 2003.9

- 2)鷹野秀明・石橋忠良・鎌田則夫・木下雅敬：柱と杭をコンクリート充填鋼管とした接合部の実験的研究,コンクリート工学年次論文報告集,vol.18,pp.1301-1306,1996.6
- 3)星川努・林 篤・大迫勝彦・山田正人：コンクリート充填鋼管ソケット式柱梁接合部に関する研究(その1),日本建築学会大会学術講演梗概集,C-1,pp.1193-1194,2003.9
- 4)日本建築学会：各種合成構造設計指針同解説,1985.
- 5)石井大吾・坂本真一・塚越英夫・辰巳佳裕・渡辺泰志：杭頭リングソケット構法の開発,GBRC, Vol.32, No.3, pp.2-13, 2007.7
- 6)緒方昌博・星川努・石渡康弘・林 篤・尻無濱昭三：線路上空建物を対象とした小口径鋼管群杭基礎工法の実験的研究,(その1, 2),日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), B-1,p.639-642, 2010.9