

中掘り根固め工法による鋼管杭の先端支持力に関する実験的研究

EXPRIMENTAL STUDY ON PLUGGING EFFECT AT TIP BULB OF BORED STEEL PIPE PILE

小坂美奈子*、王海軍*、松田秀高**、塩井幸武***、長谷川明****

Minako KOSAKA、Haijun WANG、Hidetaka MATSUDA、Yukitake SHIOI、Akira HASEGAWA

* 工修 八戸工業大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒031 八戸市妙字大開 88-1)

** 八戸工業大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒031 八戸市妙字大開 88-1)

*** 工博 八戸工業大学教授 構造工学研究所 (〒031 八戸市妙字大開 88-1)

**** 工博 八戸工業大学教授 土木工学科 (〒031 八戸市妙字大開 88-1)

Steel pipe piles have been widely used as the basement of structures, especially for large scale structures. We have two methods for execution methods of steel pipe piles, namely pile driving and bored steel pipe pile. Because of environmental protection problems, we need low noise and low vibration methods. The execution method using bored steel pipe pile is one of the low noise and vibration methods. However, the bearing capacity by using this method is ordinarily less than that of pile driving method. Therefore, it is important for the bored steel pile to improve the plugging effect at tip bulbs. We developed doubled steel pipe method to improve the plugging effect, and compared with steel pipes having reinforced steel rings. In this paper, the experiment and the results are described.

Key Words: steel pipe pile, basement, plugging effect, bored steel pipe pile with tip bulb

1. はじめに

鋼管杭基礎は支持力、変形性能、施工性などに優れた特性を持つ基礎工法で、幅広い分野にわたって使用される一般的な工法である。

鋼管杭の施工は、打ち込み杭工法と中掘り杭工法がある。打ち込み杭工法は支持力の確認が容易であり、品質にむらがなく、施工性及び経済性に優れているが、施工時に発生する騒音、振動等が大きく、都市内での施工は難しい。

中掘り杭工法はこれら建設公害に対しては有益であるが、掘削による杭先端部及び杭周辺地盤のゆるみが支持力発現上問題となることや、根固め球根の品質を確保することなど、十分な施工管理が必要である。

中掘り杭工法において、鋼管と中詰めコンクリートとの付着を確保して杭先端の閉塞効果を得るために、鋼管内に補強リングによる突起部を設けることが考えられる。この突起は回転掘削機にとって障害になる恐れもあることから、単純に従来の刃口補強板の位置を下側にずらすことに生じる鋼管内部の突起部で中詰めコンクリートの応力を鋼管杭本体に伝達させる二重管構造を考案した。

本論文では、3タイプの先端形状を有する試験体、補強リング付き試験体および鋼管本体のみの試験体につ

いて鉛直載荷試験を行い、明らかになったそれぞれの構造特性を報告する。

2. 実験方法

(1) 試験体

試験体は、図-1、2に示す5種類のを製作した。

図-1(a) (以下a試験体)は考案した新しい先端形状で二重管構造となっている。それぞれの管の下端を45°にカットしたものとカットしない試験体とした。外管と内管とは外管上部のみ溶接接合した。図-1(b) (以下b試験体)は図-1(a)の底盤付き試験体を圧縮試験した後、破壊した底盤部を除去・整形し押し抜き試験に使用したものである。

図-2は補強リングの効果を確認するために製作した、φ9mmの丸鋼のリングを付けた試験体と付けない試験体である。

それぞれの中詰めコンクリートの配合設計は実際に使用されるソイルセメントの強度を考慮し、図-1の3試験体は240 kg f/cm²、図-2のSYN28、SYR28は180 kg f/cm²とした。圧縮試験によって得られた28日強度を図中に示す。

(2) 実験装置

実験装置は図-3に示す300 tf 載荷試験装置を使

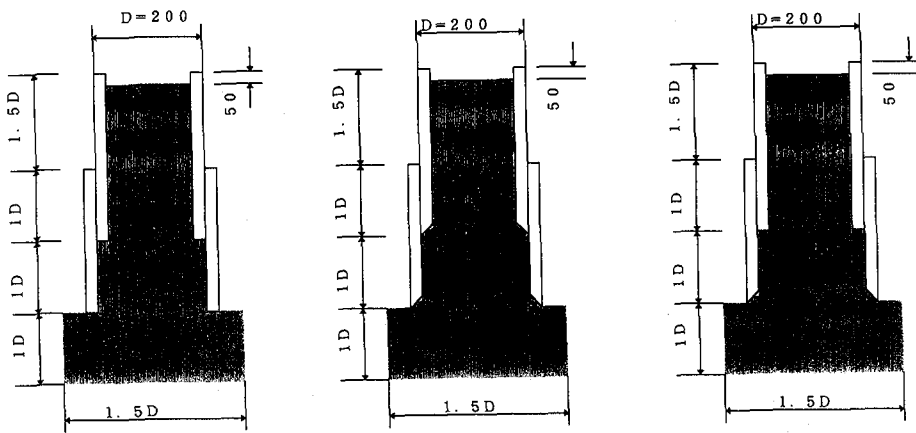


図-1 (a) 底盤を有する二重管試験体 左から N301N-1, N302C-1, N303C-1
 外管: $\phi 216.3\text{mm}$, $t=8.2\text{mm}$ 内管: $\phi 200.0\text{mm}$, $t=10.8\text{mm}$
 (中詰めコンクリート 圧縮強度 $\sigma_{28}=266\text{kgf/cm}^2$)

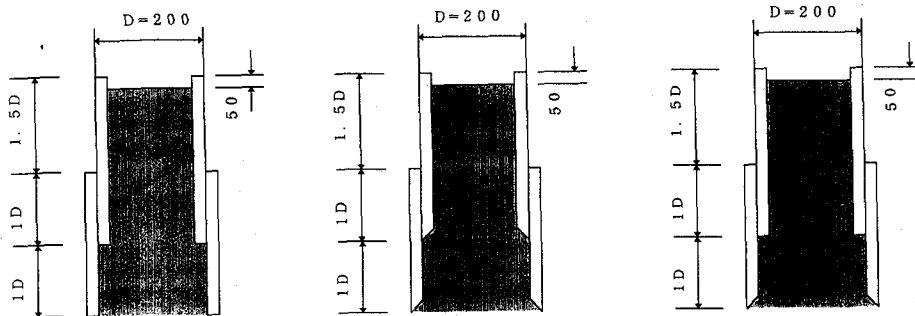


図-1 (b) 底盤を有しない二重管試験体 左から N301N-2, N302C-2, N303C-2
 外管: $\phi 216.3\text{mm}$, $t=8.2\text{mm}$ 内管: $\phi 200.0\text{mm}$, $t=10.8\text{mm}$
 (中詰めコンクリート 圧縮強度 $\sigma_{28}=266\text{kgf/cm}^2$)

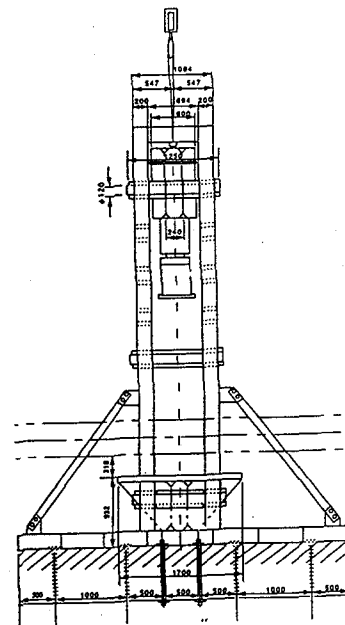
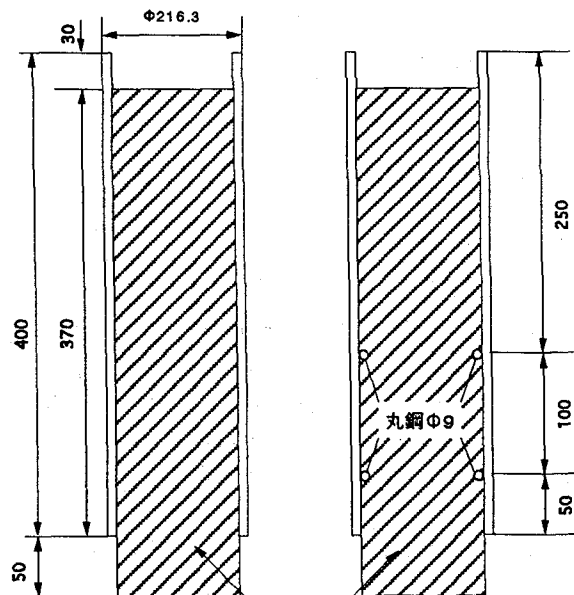


図-3 300 tf 載荷試験装置



生コン $\sigma_{28}=200\text{kgf/cm}^2$
 補強リングなし 補強リング付き
 SYN28 SYR28

図-2 補強リング効果確認試験体
 (圧縮強度 $\sigma_{28}=200\text{kgf/cm}^2$)

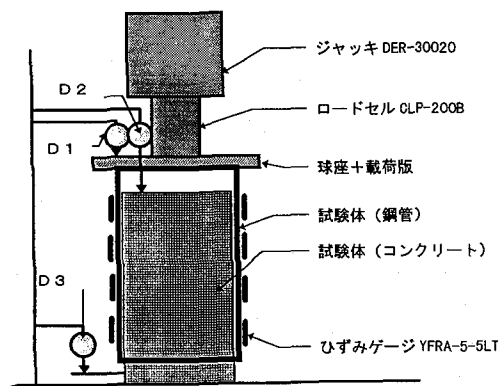


図-4 計測機器

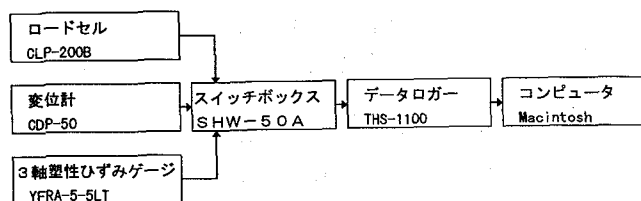


図-5 計測ブロック

用した。

(3) 実験方法

載荷は図-4に示すように、鋼管に鋼製載荷版を置き、この上に球座及びロードセルをセットし、ジャッキによって行った。図-1(b)に示す二重管構造試験体のコンクリート下部には高さ5 cmの木製受け台を置き、載荷反力をコンクリートのみで受けるようにした。載荷荷重は～20 tf/minで載荷した。

(4) 計測

計測項目は、鉛直荷重、上下端部の変位および鋼管側面のひずみである。計測機器の取付図とブロック図を図-4及び図-5に示す。試験状況を写真-1に示す。

3. 実験結果

ここでは、最初に図-1(a)に示した底盤部を有する二重管構造試験体の実験結果について述べ、その後この試験体の破壊された底盤部を除去整形した図-1(b)の試験

体の実験結果を補強リングと比較し述べる。

3. 1 底盤部を有する試験体の圧縮試験

(1) 耐荷力

表-1に各試験体の発生最大荷重、これをコンクリート断面積で除した最大応力度、付着面積で発生最大荷重を除した付着強度を示す。底盤部を有する3試験体の発生最大荷重は80.3tfから144tfであり、最大応力度は中詰めコンクリートの圧縮強度266kgf/cm²に対して0.96から1.73倍を示した。

(2) 破壊形状

写真-2、3に試験体の破壊形状を示す。写真-2は圧縮試験で最大荷重を発生させた後、破壊している周辺コンクリートを手で除去したものである。中間部がくびれた破壊面を持つことがわかる。写真-3は、この破壊した試験体を載荷試験装置からはずして横倒しにした状態である。3試験体とも、鋼管下部に約0.6Dの高さの円錐形コンクリートが付着した状態となっていた。

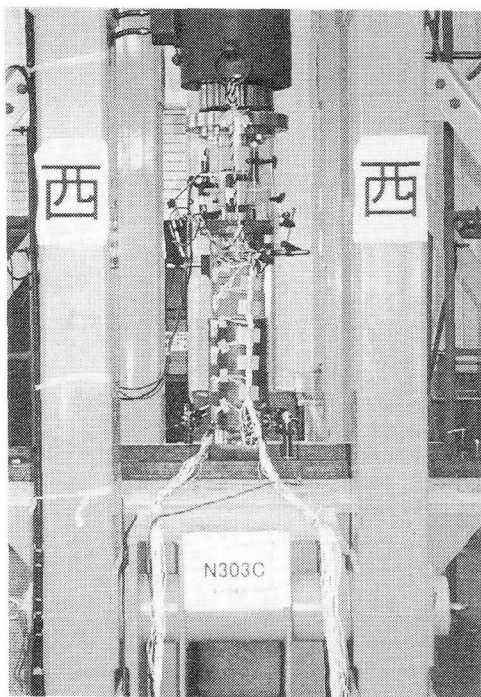


写真-1 試験状況

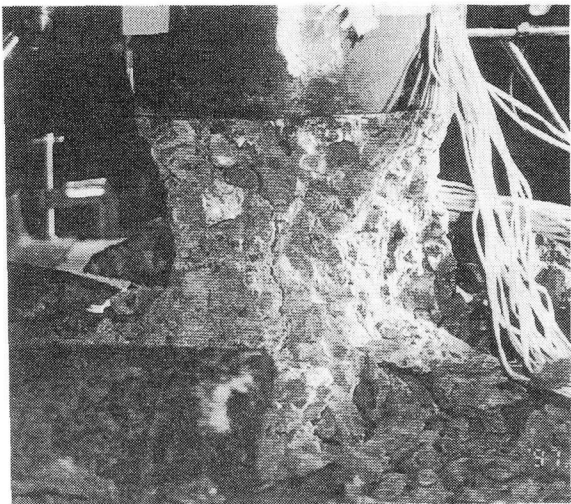


写真-2 N302C-1 試験体破壊状況その1

表-1 発生最大荷重とコンクリートの最大応力度

試験体番号	試験体寸法 (mm)	最大 荷重 (tf)	付着 面積 (cm ²)	付着 強度 (kgf/cm ²)	コンクリート 断面積 (cm ²)	最大 応力度 (kgf/cm ²)	摘 要
SYN-28	φ216.3 t=8.2 L=400	16.3	2,322.4	7.02	313.7	51.96	単管
SYR-28		134.3	2,322.4	57.83	313.7	428.13	" 17' φ9mm 2段
N301N-1	内管 φ200.0 t=10.8 L=500	80.3	3,776.2	21.26	313.7	255.99	二重管 上段フラット 底盤200付き下段フラット
N302C-1	外管 φ216.3 t=8.2 L=400	96.0	3,776.2	25.42	313.7	306.03	" 上段カット 底盤200付き下段カット
N303C-1		144.0	3,776.2	38.13	313.7	459.05	" 上段カット 底盤200付き下段フラット
N301N-2	内管 φ200.0 t=10.8 L=500	240.0	3,776.2	63.56	313.7	765.09	二重管 上段フラット 下段フラット
N302C-2	外管 φ216.3 t=8.2 L=400	240.0	3,776.2	63.56	313.7	765.09	" 上段カット 下段カット
N303C-2		260.0	3,776.2	68.95	313.7	828.84	" 上段カット 下段フラット

注: 最大応力度は、最大荷重をコンクリート断面積で除したもの
注: 付着強度は、最大荷重を付着面積で除したもの

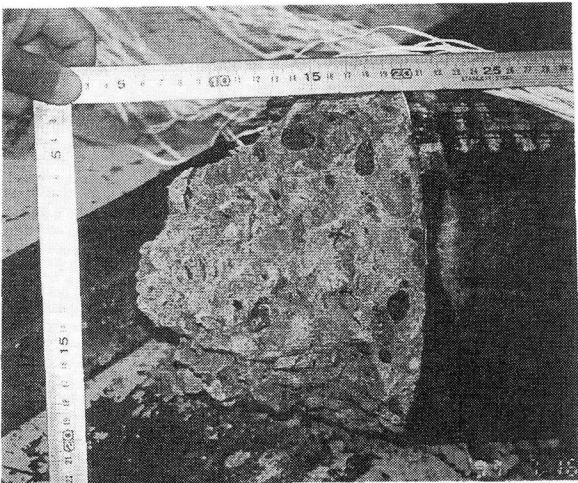


写真-3 N302C-2 試験体破壊状況その2

3. 2 底盤部を有しない試験体の圧縮試験

(1) 耐力力

中詰めコンクリートの最大断面耐力力を表-1に示す。鋼管のみのSYN28は最大荷重16tfで鋼管とコンクリートが分離したのに比べ、リング付き鋼管SYR28は134tfと8倍以上の耐力力を示した。底盤部を有しない二重管試験体の最大荷重はそれぞれ240～260tfであり、補強リング付き鋼管と比べ約2倍の耐

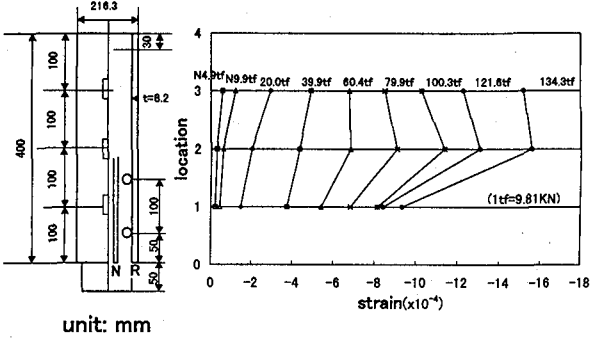


図-6 鉛直方向主ひずみ状況
SYN-28 : 4.9, 9.9tf
SYR-28 : 20, 39.9, 60.4, 79.9, 100.3, 121.6, 134.3 tf

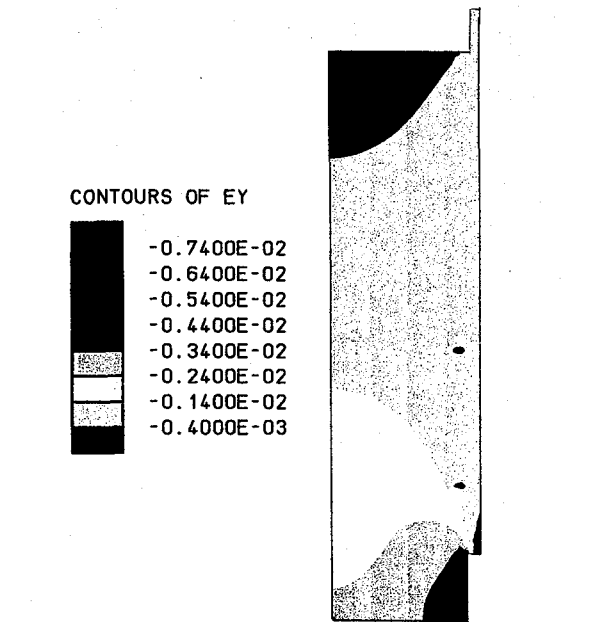


図-7 SYR-28 線形解析による鉛直方向主ひずみ状況

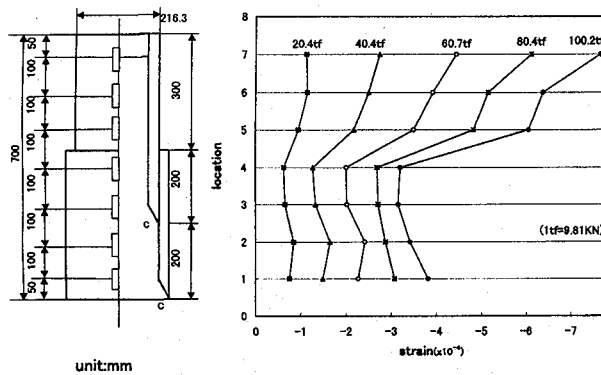


図-8 N302C-1, 2 の鉛直方向主ひずみ状況 (-100tf)

荷力となった。これをコンクリートの付着面積で除した付着強度でみると、SYR28は58 kgf/cm²、二重管は64～69 kgf/cm²となった。また、コンクリートの最大応力度はSYR28は428 kgf/cm²、二重管は765～829 kgf/cm²となった。さらにこの最大応力度は、中詰めコンクリートの圧縮強度 (SYN28、SYR28は200 kgf/cm²、二重管試験体は266 kgf/cm²) の2.14～3.12 倍となった。これは、鋼管内部に断面変化点がある場合、その断面変化点においてコンクリートの側方変形が強く拘束されることにより大きな先端閉塞効果が得られるものと考えられる。

(2) 鋼管のひずみ状況

① SYN28、SYR28のひずみ状況

SYN28及びSYR28の鉛直方向主ひずみ状況を図-6に示す。SYN28は4.9tf、9.9tfの荷重状況を、SYR28は最大荷重134.3tfまでの20tf毎の荷重状況を示している。計測されたのは上端から10cm毎の鋼管表面の3点のひずみである。

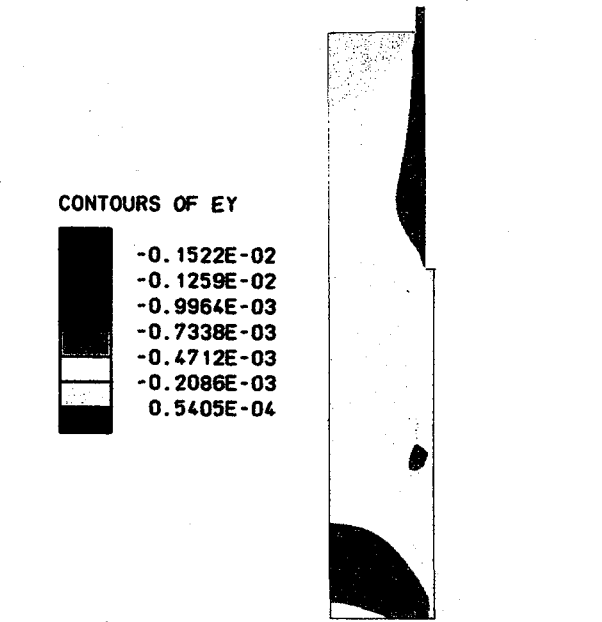


図-9 N302C-2 線形解析による鉛直方向主ひずみ状況

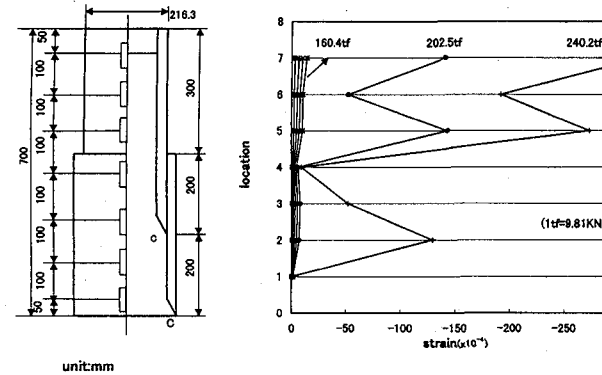


図-10 N302C-1, 2 鉛直方向主ひずみ状況

荷重レベルが低いときには上部のひずみが大きく、下部に行くに従って線形的に低下する傾向をもつ。これは、鋼管に加わった軸力が付着力を通じて中詰めコンクリート側に徐々に伝達されるからである。SYR28では荷重レベルが60tfに達するとその傾向が崩れ、補強リング上のひずみの値が上部のひずみを越えて最大となっている。これは補強リングによる影響と考えられる。一方、2つの補強リングの中間部のひずみは増大率が低下し、補強リング上部のひずみに比べ増大しないことが示されている。このように補強リングの存在は、鋼管の軸力を中詰めコンクリート側へ伝達する役割を果たしていることが判明した。この状態に関する軸対称モデルの有限要素法による線形解析結果を図-7に示す。補強リング部分でひずみに変化が起こっていることがうかがえる。

②二重管構造のひずみ状況

二重管の試験体のうちN302C-1およびN302C-2の100tfまでのひずみ状況を図-8に示す。

鋼管のひずみは上部から徐々に低下している。二重管部のひずみは上部のひずみに比べ急激に低下すること

がわかる。二重管部の下部のひずみはほぼ二重管部と等しい値ではあるが、若干大きい値となっている。これは、二重管下部の断面積の減少によるひずみ増大と、摩擦力によるコンクリート側からの軸力が伝達されることの重ね合わせとなっていると考えられる。

二重管部No.4、No.3のひずみがほぼ同一であることは、この試験体の定着長20cmは、内管から外管への応力伝達に十分な長さであると考えられる。

この状態に関する軸対称モデルの有限要素法による線形解析結果を図-9に示す。補強リング付き鋼管と同様に、断面変化点である二重管部下端の部分でひずみが乱れていることがわかる。

③二重管構造の終局ひずみ状況

図-10は二重管構造N302C-1およびN302C-2の終局までのひずみ分布状況を示したものである。

160tfまでのひずみの分布は荷重レベルが低い場合と同様の傾向を示している。本試験体は200tfを越えた時点で二重管上部のひずみが急激に増大し、鋼管の形状が局部的に膨らみ座屈が発生した。さらに終局荷重

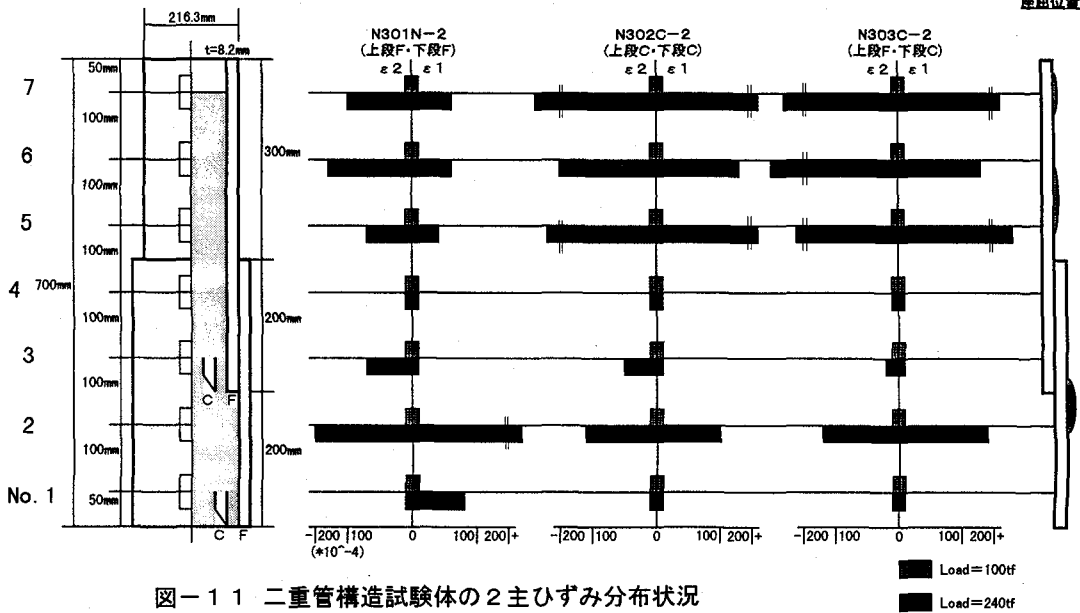


図-11 二重管構造試験体の2主ひずみ分布状況

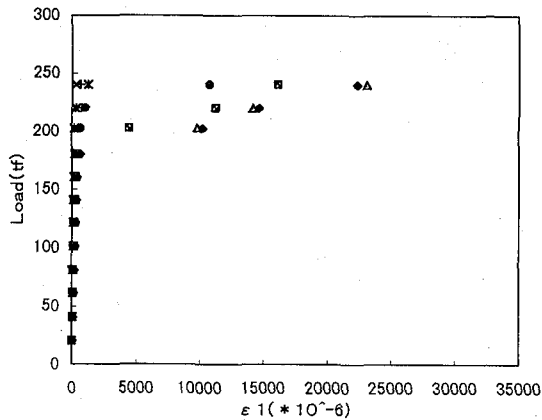


図-12 N302C 荷重-ひずみ (ϵ_1) 状況

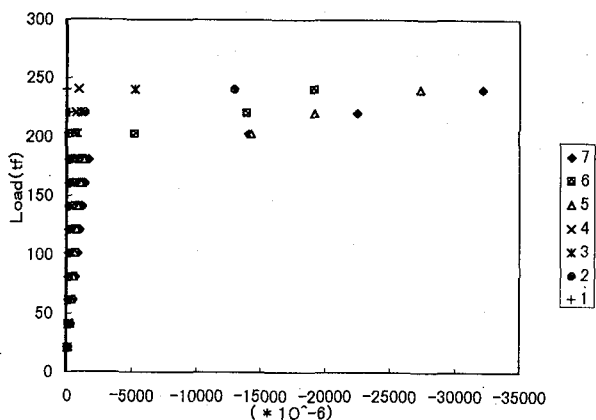


図-13 N302C 荷重-ひずみ (ϵ_2) 状況

時には二重管下部のひずみも急増し、上部においても下部と同様に座屈が発生した。鋼管の座屈状況を写真－４に示す。

④二重管構造のひずみの分布

図－１１は二重管構造試験体の２主ひずみ ϵ_1 、 ϵ_2 を、荷重レベル１００ tf、２４０ tfで示したものである。 ϵ_2 は軸方向主ひずみで圧縮ひずみ、 ϵ_1 は軸直角方向の引張ひずみである。

全ての点で、 ϵ_2 の増大に伴って ϵ_1 が増大している。大きな ϵ_1 を発生している地点は、座屈発生位置の近傍であることがわかる。１００ tf 載荷時に対する２４０ tf 載荷時の ϵ_1 の増大が極端に大きい。これは、中詰めコンクリート内には大きな圧縮力が働いており、それに伴って発生する軸直角方向ひずみにより鋼管に円周方向の大きな力が作用しているものと考えられる。また、二重管直下の ϵ_1 が大きいことは、この部分が閉塞効果に寄与していることを示している。

さらに、断面変化点下部の ϵ_2 が小さいことから、鋼管の軸力の大部分が断面変化点下部で中詰めコンクリートに伝達されていると考えられる。

N 3 0 1 N－２は他の２つの試験体に比べ最下部の ϵ_1 が大きく、大きな閉塞効果を生みだしている。

⑤荷重の増大に伴うひずみの状況

図－１２、１３は二重管構造N 3 0 2 C－２の荷重増大に伴う７点の主ひずみ ϵ_1 、 ϵ_2 を描いたものである。 ϵ_1 についてみると、二重管部のNo. 3、No. 4 及びNo. 1 は、荷重の増加に伴ってほぼ直線的にひずみが小さい範囲で増大していることがわかる。大きなひずみが発生したのは、No. 5、No. 6、No. 7、及びNo. 2 で、特にNo. 5 とNo. 7 で大きなひずみが発生している。ひずみの発生状況は、

荷重レベルが２００ tfに達した時点でNo. 7、No. 6、No. 5 の順で大きなひずみが発生し、その後２４０ tfまでにおけるひずみの増大率はこの３点で非常に大きい値をとっている。さらにNo. 2 では、２４０ tf 載荷時に急激なひずみの増大を発生させた。

ϵ_2 についても荷重レベルが２００ tf 未満では荷重とひずみの関係は直線的であった。２００ tf 載荷時にNo. 5、No. 7、No. 6 の順で大きなひずみが発生し、２４０ tf 載荷時はNo. 7、No. 5、No. 6、No. 2 の順に大きなひずみが発生している。

このようなひずみの発生状況から座屈発生位置がNo. 7、No. 5、No. 2 の近傍であること、二重管上部の座屈が先行して発生していることがわかる。

(３) 試験体の破壊状況

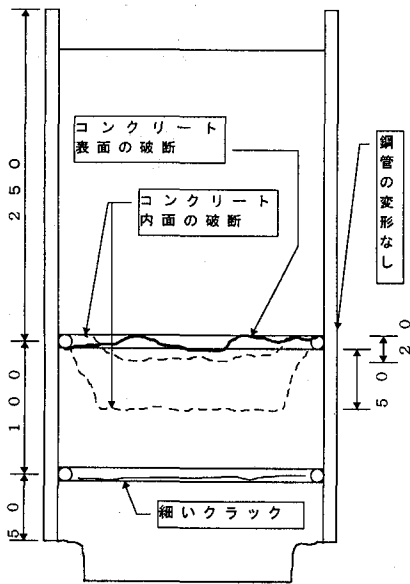
補強リング付き鋼管及び二重管の破壊状況を図－１４、１５、１６、１７及び写真－４、５に示す。

①SYR 2 8

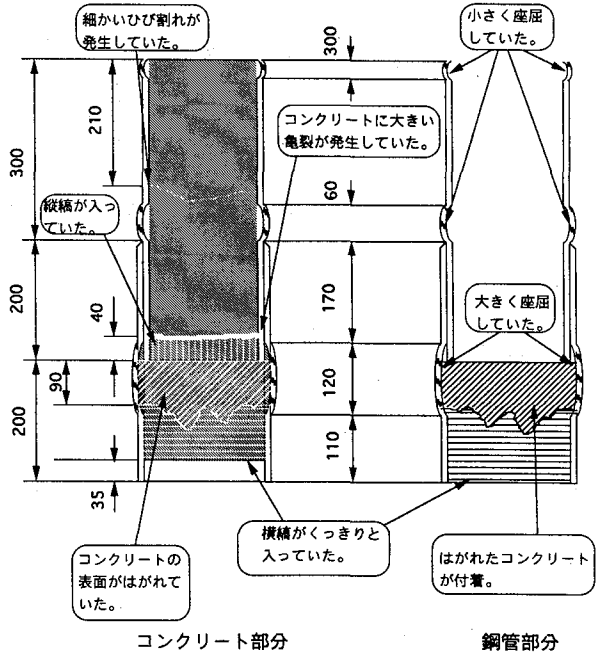
コンクリートの破断が上側のリブで生じており、破断面はリブ上端及び下端からそれぞれ臼型になっていた。下側のリブの部分には細かいクラックが生じている。鋼管には座屈等の損傷はみられない。

②N 3 0 1 N－１およびN 3 0 1 N－２

コンクリートの破断は内管の下端より４０ mm 上側で生じた。破断面から内管下端までは縦縞が入っていた。この破断面はコンクリートの抜け上がり状況から、当初の内管下端面で生じたと考えられる。また、内管と外管の下部接合部の間にコンクリートがめり込んでおり、鋼管にコンクリートが付着していた。この現象から内外管の溶接は二重管の上下端ともに行う必要があることがわかった。外管部分のコンクリートおよび鋼管には横縞



図－１４ SYR-28 試験体破壊状況

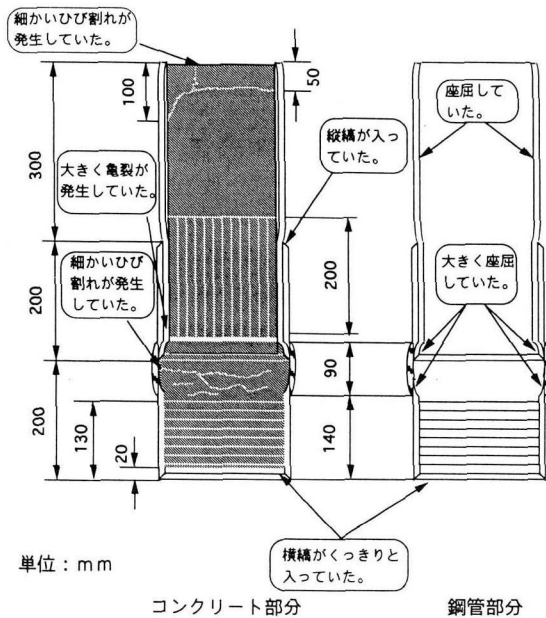


図－１５ N301N-1, 2 試験体破壊状況

が付いている。鋼管はコンクリートがめり込んだ二重管下側部分と二重管部の上側及び杭頭で座屈していた。

③N302C-1およびN302C-2

コンクリートの破断位置はN301Nと同様に当初の内管下端面で生じた。内管と外管の下部接合部の間へのコンクリートのめり込みはみられなかった。二重管部分のコンクリート全体に縦縞がついており、またN301Nと同様に外管部分のコンクリートおよび鋼管には横縞が付いていた。鋼管は二重管下側部分と上側部分全体で座屈していた。



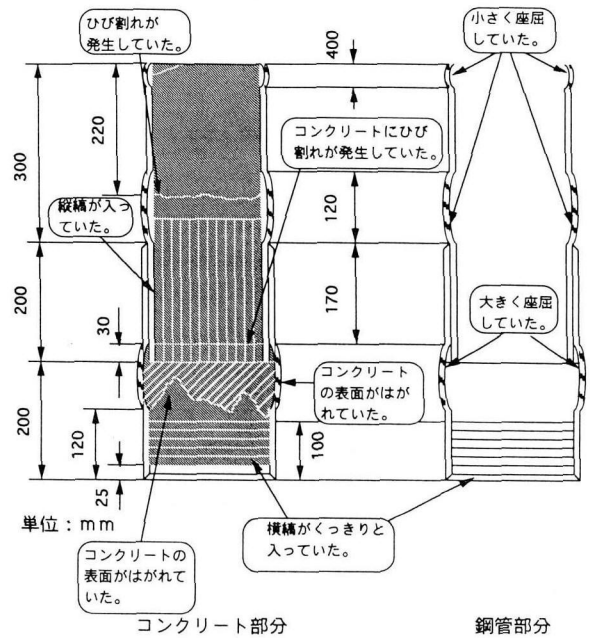
図一 1 6 N302C-1, 2 試験体破壊状況

④N303C-1およびN303C-2

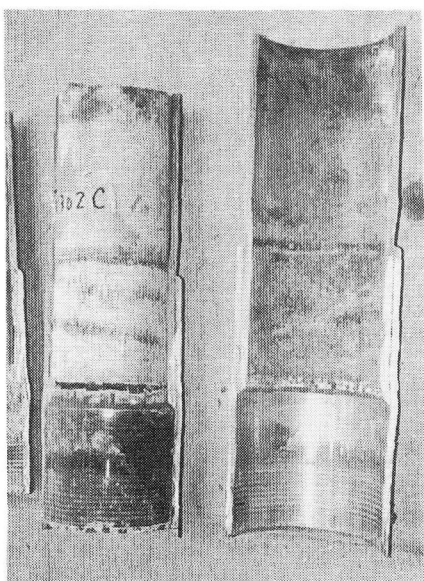
コンクリートの破断はなかったものの、二重管部にめり込んだコンクリートの内管下端面であつたと考えられる位置にクラックが生じていた。内管と外管の下部接合部の間へのコンクリートのめり込みはN301Nより少ない。コンクリート表面の縦縞は二重管部分も含めた範囲で付いていた。

なお、二重管構造の試験中、座屈の発生とほぼ同時期と思われる頃から大きな破壊音が発生し、終局荷重載荷時まで断続的に発生していた。

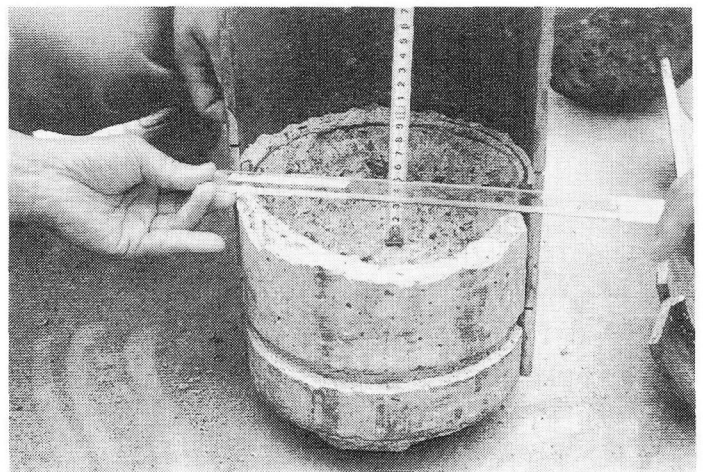
これらの現象の解析は今後の課題としたい。



図一 1 7 N303C-1, 2 試験体破壊状況



写真一 4 N302C 鋼管破壊状況



写真一 5 SYR-28 破壊状況

4. 結論

本実験は、先端形状の異なる中掘り根固め工法による鋼管杭の先端支持力に関する試験を行い、鋼管とコンクリートの応力伝達メカニズムを調査したものである。得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 鋼管を二重にすることにより出来る断面形状は、中詰めコンクリートを十分に拘束することができ、補強リングをつけた場合より大きな先端閉塞効果を得ることができる。
- (2) 鋼管に載荷された軸力の大部分は、断面変化点で中詰めコンクリート側に伝達される。
- (3) 二重管構造では、鋼管が破壊されるまで中詰めコンクリートは一体となっている。
- (4) 二重管構造の先端は、フラットとすることで十分な先端閉塞効果がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、全基連工法協会から多大な協力を頂いた。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 大志万和也、福井次郎：新しい鋼管杭の杭頭結合方法、土木技術資料 27-1、1985
- 2) 岡原美知夫、福井次郎、中谷昌一、田口敬二、藤原知広：杭頭部とフーチングの結合部の設計法に関する検討、土木研究所資料第 3077 号、1992
- 3) 高橋芳彦、大野友則、丸山貴司、内田孝：円形リングで横拘束されたコンクリートの動的応力～ひずみ関係、構造工学論文集、36A、1141-1152、1990
(1997 年 9 月 26 日受付)