

鋼管杭と先端中詰めコンクリートの合成作用

塩井幸武*、長谷川明**

* 工博 八戸工業大学教授 構造工学研究所 (〒031-8501 八戸市妙字大開 88-1)

** 工博 八戸工業大学教授 土木工学科 (〒031-8501 八戸市妙字大開 88-1)

鋼管杭基礎の施工方法には、打ち込み工法と中掘り工法がある。中掘り工法は、打ち込み工法に比較して、低騒音や低振動で有利であるが、杭先端部及び杭周辺地盤のゆるみによる支持力が課題となる。このため、鋼管と中詰めコンクリートによって杭先端の閉塞効果を得るために、鋼管内に補強リング状の突起部を設けることが考えられている。この突起は、それ以深の掘削の障害になることから、単純に従来の刃口補強板の位置を下側にずらすことで生じる鋼管内部の段差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、その先端構造と支持力に関する実験的研究を行った。二重鋼管構造を有する試験体、補強リング付き試験体および鋼管本体のみの試験体の中詰めコンクリートについて鉛直載荷試験を実施した。また、この実験は、これまでの地震において大きな鉛直方向荷重による災害事例が見られることから、そのような荷重を受けるときの構造物の挙動を調査検討する実験である。実験結果の考察から、杭先端部が二重鋼管構造の中詰めコンクリートの強度および剛性がコンクリート供試体の数値に比較し数倍の値を示すこと、断面変化点での破壊様式が補強リング付き鋼管杭のそれとは異なることの新しい知見を得た。この鋼管杭と先端中詰めコンクリートの合成作用によって、杭の先端支持力は著しく改良された。

Key Words: Steel pipe pile, Plugging effect, Point bearing capacity, Composite structure

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が、その施工には打ち込み工法と中掘り工法がある。中掘り杭工法は、振動や騒音などの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、根固めコンクリートの球根の品質を確保することなど、十分な施工管理が必要となっている。

このため、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、鋼管内面に補強リングによる突起部を設けることが考えられる。ところが、この突起は中掘りを進める回転掘削機やそれに以深の掘削の障害になる恐れもある。そのため、単純に従来の刃口補強板の位置を下側にずらすことによって生じる鋼管内部の段差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。

この二重管構造による鋼管杭とコンクリートの合成作用を調査する目的で、3タイプの先端形状を有する二重鋼管構造試験体、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った。¹⁾

その結果、二重鋼管構造試験体は補強リング付き試験体に比べ大きな先端支持力が得られることがわかった。また、実験結果の考察から、中詰められたコンクリート

の強度および剛性がコンクリート単体の値に比べ数倍となっていること、断面変化点におけるコンクリートの破壊様式が、補強リング付き試験体のそれとは全く異なったものとなっていることが明らかになった。

本実験は、これまでの地震において大きな鉛直方向荷重による災害事例が見られることから、そのような荷重を受けるときの構造物の挙動を調査検討する実験である。^{2) - 5)}

本論文では、実施された実験概要、その結果および考察について述べる。

2. 実験方法

(1) 試験体

試験体は、図-1、2に示す5種類のものを製作した。

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)の底盤コンクリート付き試験体を圧縮試験した後、破壊した底盤コンクリート部を除去・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の丸鋼のリングを内側に溶接で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現場に

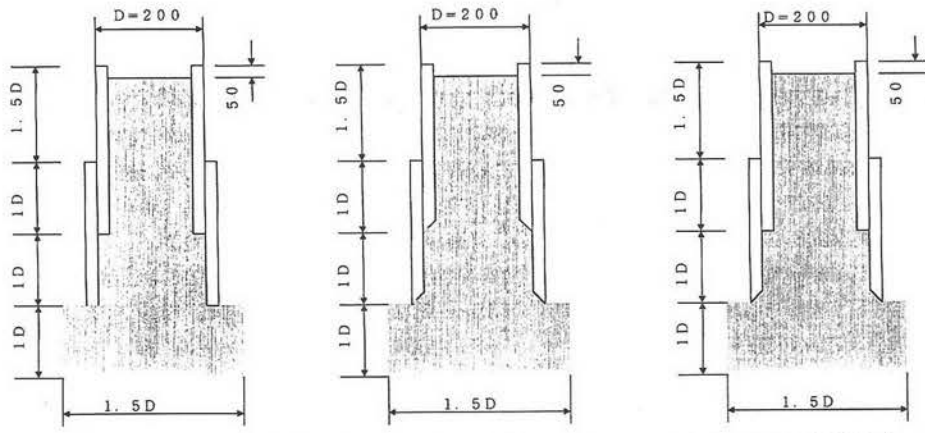


図-1 (a) 底盤を有する二重管試験体 左から N301N-1, N302C-1, N303C-1
 外管 : $\phi 216.3\text{mm}$, $t=8.2\text{mm}$ 内管 : $\phi 200.0\text{mm}$, $t=10.8\text{mm}$
 (中詰めコンクリート 圧縮強度 $\sigma_{28}=266\text{kgf/cm}^2$)

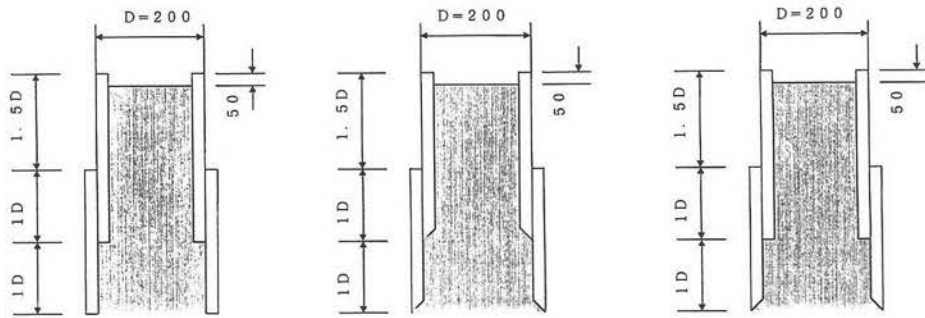


図-1 (b) 底盤を有しない二重管試験体 左から N301N-2, N302C-2, N303C-2
 外管 : $\phi 216.3\text{mm}$, $t=8.2\text{mm}$ 内管 : $\phi 200.0\text{mm}$, $t=10.8\text{mm}$
 (中詰めコンクリート 圧縮強度 $\sigma_{28}=266\text{kgf/cm}^2$)

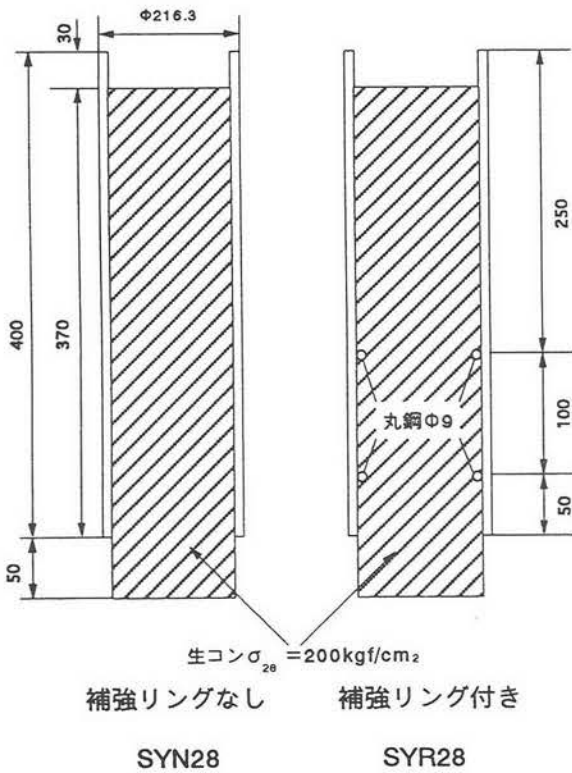


図-2 補強リング効果確認試験体
 (圧縮強度 $\sigma_{28}=200\text{kgf/cm}^2$)

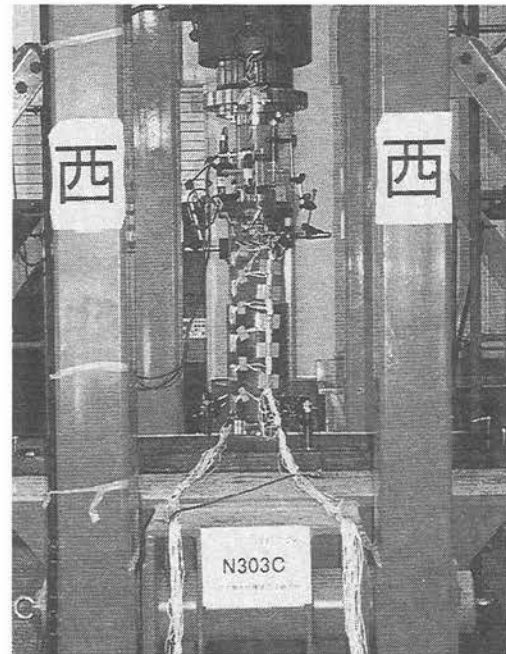


写真-1 試験状況

使用されるソイルセメントの強度を考慮し、それぞれの試験体コンクリートの配合強度を、図-1の3試験体は240 kgf/cm²、図-2のSYN28、SYR28は180 kgf/cm²とした。圧縮試験によって得られた28日強度はそれぞれ266、200 kgf/cm²であった。また、弾性係数はそれぞれ12×10⁴、6.9×10⁴ kgf/cm²であった。

(2) 実験装置および計測装置

実験装置は300tf 載荷試験装置を使用した。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、ひずみゲージは直径方向に対象に2点貼り付けた。計測機器の取付状況を図-3に、試験状況を写真-1に示す。

(3) 実験方法

載荷は図-3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5cmの円形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。載荷速度は5~20tf/minで載荷した。

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コンクリートを除去整形した図-1(b)の試験体の実験結果を補強リング試験体と比較して述べる。

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。底盤部コンクリートを有する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単体の圧縮強度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。杭の下端部がくびれた破壊面となっていることがわかる。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、鋼管下端部に約0.6Dの高さの円錐形コンクリートが残存した状態となっていた。

3.2 底盤部を有しない試験体の圧縮試験

(1) 耐荷力

中詰めコンクリートの最大断面耐荷力を表-1に示す。鋼管内面に断面変化のないSYN28は最大荷重16tfを示したのに比べ、リング付き鋼管SYR28は1

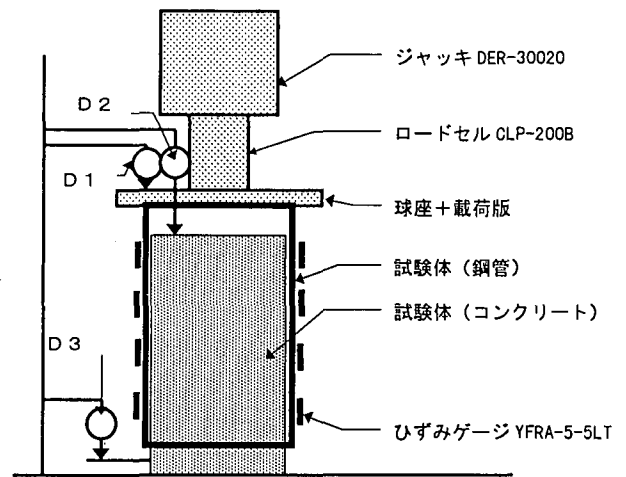


図-3 計測機器

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(A) (kgf/cm ²)	コンクリート単体の圧縮強度(B) (kgf/cm ²)	A/B	摘要
SYN-28	φ216.3 t=8.2 L=400	16.3	2,322.4	7.02	313.7	51.96	200	0.260	単管
SYR-28		134.3	2,322.4	57.83	313.7	428.13	200	2.141	リブ φ9mm 2段
N301N-1	内管 φ200.0 t=10.8 L=500 外管 φ216.3 t=8.2 L=400	80.3	3,776.2	21.26	313.7	255.99	266	0.962	二重管 上段フラット 底盤200付き下段フラット
N302C-1		96.0	3,776.2	25.42	313.7	306.03	266	1.150	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	266	1.726	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 外管 φ216.3 t=8.2 L=400	240.0	3,776.2	63.56	313.7	765.09	266	2.876	二重管 上段フラット 下段フラット
N302C-2		240.0	3,776.2	63.56	313.7	765.09	266	2.876	上段カット 下段カット
N303C-2		260.0	3,776.2	68.85	313.7	828.84	266	3.116	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

3.4tfと8倍以上の耐荷力を示した。さらに、底盤部コンクリートを有しない二重管試験体の最大荷重はそれぞれ240～260tfで、SYN28に比較し1.5～1.6倍の耐荷力を示した。この最大荷重を、補強リング付き鋼管と比べると、約2倍の耐荷力となった。

コンクリートの応力度に換算してみると、SYR28は428kgf/cm²、二重管は765～829kgf/cm²とな

り、コンクリート単体の圧縮強度に比べ大きな強度を示した。この最大応力度の中詰めコンクリート圧縮強度との比は、リング付き鋼管で2.1、二重管試験体で2.9から3.1である。

これらの最大荷重増大の理由は、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

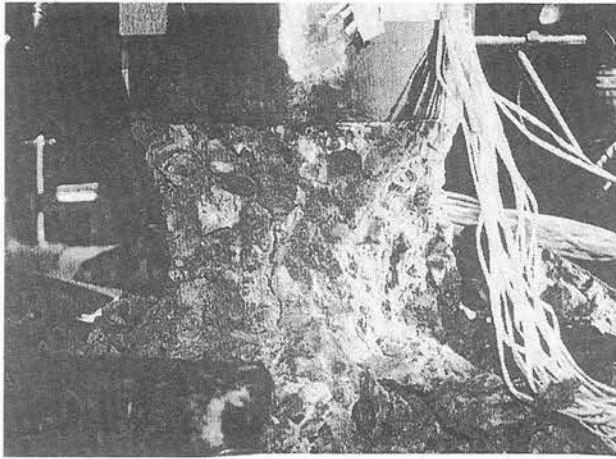


写真-2 N302C-1 試験体破壊状況その1

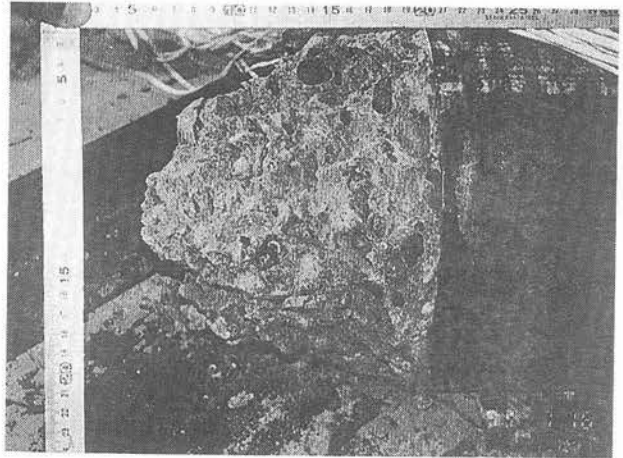


写真-3 N302C-1 試験体破壊状況その2

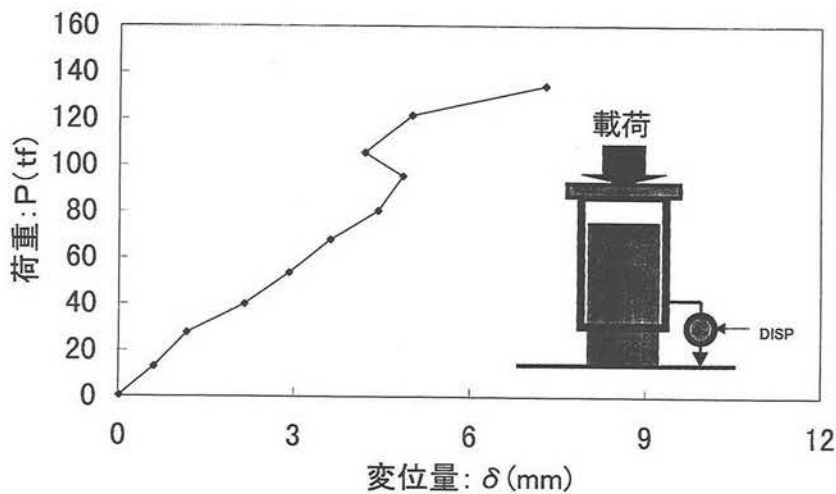


図-4 荷重変位曲線: SYR-28

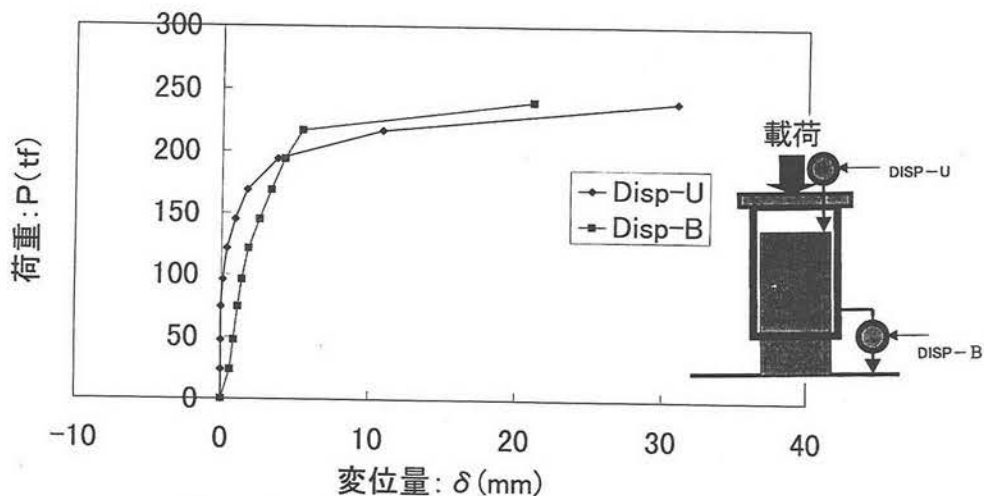


図-5 荷重変位曲線: N302C-2

効果が得られたものと考えられる。

(2) 荷重変位曲線

図4, 5にそれぞれリング付き鋼管SYR28および二重管構造試験体N302C-2の荷重変位曲線を示す。両曲線の勾配を比較すると、二重管構造試験体の軸方向剛性がリング付き鋼管に比べて大きいことが示されている。

いま、試験体全体の剛性を式(1)で定義される軸方向変形係数で評価することを考える。

$$\text{軸方向変形係数} = \frac{\text{試験体の平均軸方向応力}}{\text{試験体の軸方向ひずみ}} \quad (1)$$

この軸方向変形係数を荷重変位曲線が直線となっている区間から求めると、リング付き鋼管が $3.2 \times 10^4 \text{ kg f/cm}^2$ 、二重管構造試験体N302C-2が $14.8 \times 10^4 \text{ kg f/cm}^2$ である。これらの値は中詰めコンクリート単体の弾性係数に比べ、リング付き鋼管では小さな値となっている一方、二重管構造試験体N302C-2では25%増加している。

また、二重管構造試験体N302C-2では試験体上端の変位が発生していないことから、ほぼ150tfまで鋼管とコンクリートは一体となって挙動していることがわかる。

(3) 鋼管のひずみ状況

①SYN28、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3点のひずみである。

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

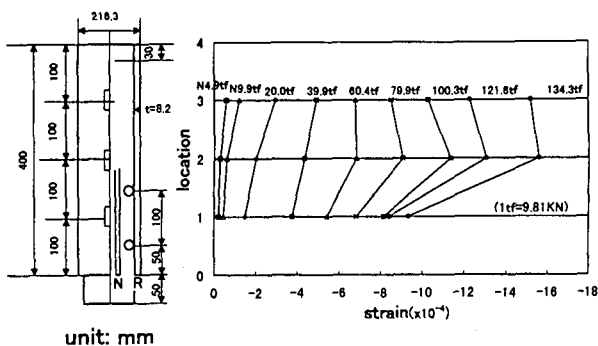


図-6 鉛直方向主ひずみ状況

SYN-28 : 4.9, 9.9tf

SYR-28 : 20, 39.9, 60.4, 79.9, 100.3, 121.6, 134.3 tf

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わかる。

荷重変位曲線(図-4)で線形性を示した100.3tf時の補強リング間の鋼管ひずみが中詰めコンクリートのひずみと同一と仮定して式(1)で示した軸方向変形係数を計算すると、 $4.0 \times 10^4 \text{ kg f/cm}^2$ となって、中詰めコンクリート単体の弾性係数に対し5.8倍となっていると考えられる。

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-7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。

SYR28と同じく100.2tf時の断面変化点下部のひずみから式(1)で示した軸方向変形係数を計算すると $9.1 \times 10^4 \text{ kg f/cm}^2$ となって、中詰めコンクリート単体の弾性係数に対し7.6倍となっている。なお、このときの鋼管とコンクリートのひずみは図-5に示した荷重変位曲線から、DISP-Uがほぼ0であることから同一と推定することができる。

(3) 試験体の破壊状況

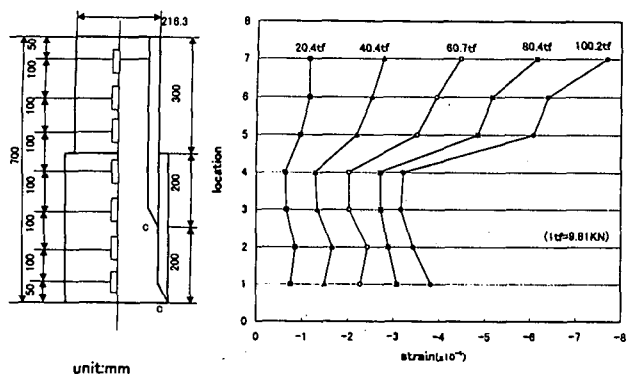


図-7 N302C-1, 2の鉛直方向主ひずみ状況 (100tまで)

①SYR28

補強リング付き鋼管及びの破壊状況を図-8及び写真-4に示す。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発達しそれぞれ臼型になっていた。下側のリブの部分には細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。

②二重管試験体

N302C-1およびN302C-2の破壊状況を図-9および写真-5に示す。

コンクリートの破断位置は当初の内管下端面(断面変化点)で生じた。内管と外管の接続部の断面変化点では、

鋼管に沿った滑らかな変形の痕がみられた。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、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。

内管の下端部がフラットなタイプのN301CとN303C試験体では、内管下端部にわずかながらコンクリートがめり込んでいた。これは、内管下端部が外管と溶接されていないため、コンクリートの軸方向ひずみによって発生した2本の鋼管の変形差による影響と考えられる。また、この断面変化点には、外側鋼管に鋭角のコンクリートが付着していた。

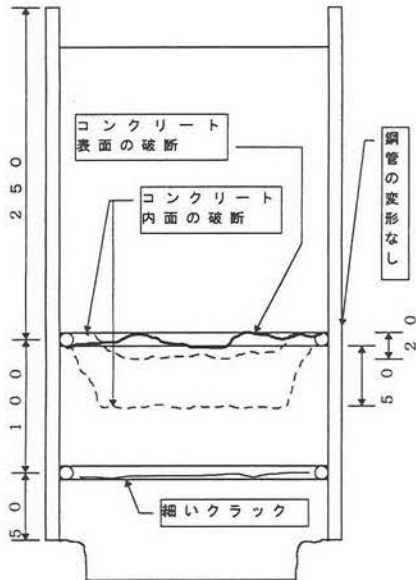


図-8 SYR-28 試験体破壊状況

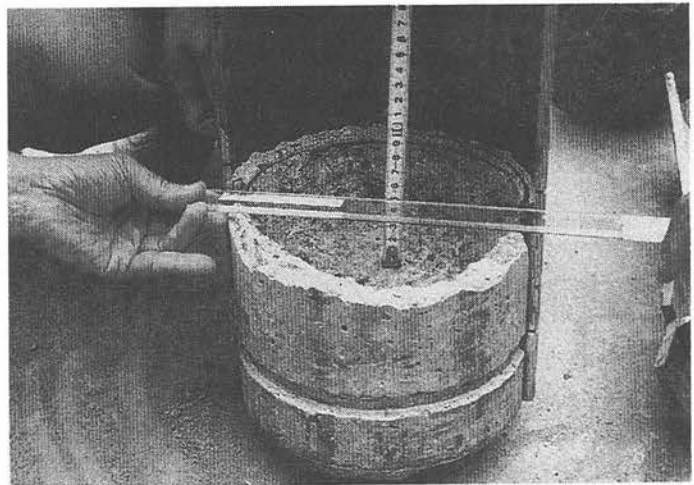


写真-4 SYR-28 破壊状況

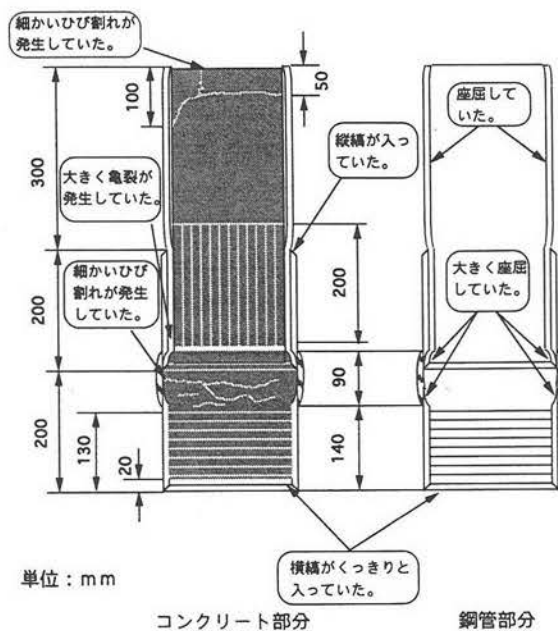


図-9 N302C-1,2 試験体破壊状況

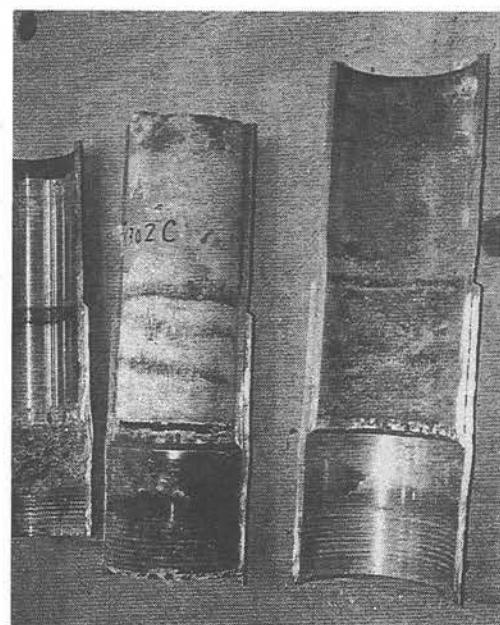


写真-5 N302C-1,2 鋼管破壊状況

①SYR28

補強リング付き鋼管及びの破壊状況を図-8及び写真-4に示す。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発達し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。

②二重管試験体

N302C-1およびN302C-2の破壊状況を図-9および写真-5に示す。

コンクリートの破断位置は当初の内管下端面(断面変化点)で生じた。内管と外管の接続部の断面変化点では、鋼管に沿った滑らかな変形の痕がみられた。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、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。

内管の下端部がフラットなタイプのN301CとN303C試験体では、内管下端部にわずかながらコンクリートがめり込んでいた。これは、内管下端部が外管と溶接されていないため、コンクリートの軸方向ひずみによって発生した2本の鋼管の変形差による影響と考えられる。また、この断面変化点には、外側鋼管に鋭角のコンクリートが付着していた。

このことから、断面変化点におけるコンクリートは、内管先端部にコンクリートが鋭角状に破壊付着し、そのことによって終局時には中詰めコンクリートの形状は、滑らかに絞り込まれた形状となっていると考えられる。

4. 結論

本実験は、先端形状の異なる中堀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実施し、鋼管と中詰めコンクリートの合成作用を調査したものである。得られた知見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できる段差のある断面形状は、中詰めコンクリートを十分に拘束することができ、大きな反力と先端閉塞効果を得ることができる。このとき、換算したコンクリートの強度はコンクリート単体の約3倍となる。
- (2) 中詰めコンクリートの軸方向変形係数は、コンクリート単体としての弾性係数より大きな値を示し、強い剛性をえることができる。

(3) 中詰めコンクリートは、リング付き鋼管ではリング取り付け部より下部中心軸に向かって臼状のせん断面を持つ破壊様式となるが、二重管構造鋼管では内管下端にくさび状のコンクリート片を残して断面変化点より上部に向かう円錐状の破壊様式を示し、両者の破壊様式は異なっている。また、中詰めコンクリートは二重管構造鋼管の断面変化点では内管表面に沿って滑らかな形状となっている。

(4) このような鋼管とコンクリートの合成作用の結果、鋼管が座屈し、中詰めコンクリートはコンクリート単体の3倍の強度を発揮するまで大きな耐荷力を示すこととなった。

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。また、計測に際しては東京測器研究所および山田設備機工の協力をいただいた。御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小坂美奈子、王海軍、松田秀高、塩井幸武、長谷川明：中堀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、構造工学論文集、44A、1685-1692、1998
- 2) 兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書、兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会、1995
- 3) 塩井幸武：三陸はるか沖地震における上下動の影響とみられる現象：第51回土木学会年次学術講演会講演概要、1-B、pp.190-191、1998
- 4) 塩井幸武、石川詳：地震時の上下動の影響とRC部材の靱性向上のための配筋、三陸はるか沖地震シンポジウム論文集、pp.117-124、1998
- 5) 建設省土木研究所：土木研究所報告第159号、pp.169-200、1983
- 6) 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

(1998年8月17日受付)

COMPOSITE EFFECT OF PLUG CONCRETE WITHIN A TIP OF STEEL PIPE PILE

Yukitake SHIOI, Akira HASEGAWA

Steel pipe piles are commonly used for pile foundation in Japan. Although inner excavation methods are popular for their installation at urban area, due to less noise and less vibration, there is a problem to recover the bearing capacity of the loosened ground at the pile tip. Since adhesion between steel pile and embedded concrete at the tip is not enough, some protuberances in shape of a ring are set inside of pile as a connector, in order to take plugging effect, but it often makes troubles for rotary machines.

The authors devised a new double pipe system at the pile tip, which consist of a step of gap between pile and cover plate, and the ground reaction transfers to pile at the step. The vertical loading tests were performed on the composite models of embedded concrete and steel pipe with double pipe system, ring protuberances and flat surface. From the results, it is found that their strengths and deformation moduli are several times of the embedded concrete specimen and rupture patterns of concrete at the connector are different between the double pipe system and the ring protuberances. The point bearing capacity of pile is apparently improved by the composite effect between the steel pipe and embedded concrete.