円筒コンクリート構造物用ＰＣ鋼材定着具の開発

神鋼鋼線工業(株)　工修　○武市　知大
神鋼鋼線工業(株)　正会員　細居　清剛
神鋼鋼線工業(株)　正会員　吉野　博
神鋼鋼線工業(株)　正会員　工修　荒木　茂

キーワード：円筒形構造物，ＰＣ鋼材，定着具

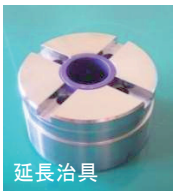
１．はじめに

円筒形構造物において双方向から配線されたPC鋼材を一つの定着具にて緊張を行うことを目的としたPC鋼材定着具（H型アンカー）を開発した。コンクリートの躯体には特別な定着突起を設ける必要がなく，切り欠きを小さくでき，断面欠損，後埋め範囲を小さくすることが可能となる。今回は，H型アンカーの定着効率試験，アンカーを埋設したコンクリートブロック試験および地震時の安全性を検証するための低サイクル試験と併せ，アンカーの荷重伝達性能，施工性について報告する。

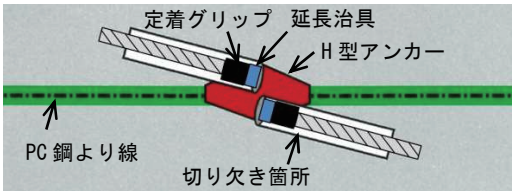
２．Ｈ型アンカー概要

2.1　Ｈ型アンカーの特徴および適用ＰＣ鋼より線

H型アンカー本体および構成部品を**写真－１**に示す。グラウトの通り道を設けた延長治具および定着グリップをH型アンカー本体に配置する仕様である。H型アンカーの材質はFCD500（引張強さ:500N/mm^{2}以上、0.2%耐力:320N/mm^{2}以上、伸び:7%以上），適用PC鋼より線はφ21.8mm，アンボンドまたはプレグラウトPC鋼より線の使用を標準としている。H型アンカーの配置概要図を**図－１**に示す。PC鋼より線は一直線に配置されるため偏心モーメントの影響が小さく，またアンカーは打設前に埋設されるため切り欠きを小さく抑えることが可能である。

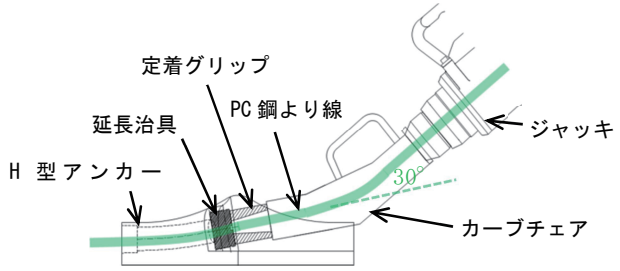


写真－１　H型アンカー本体および構成部品

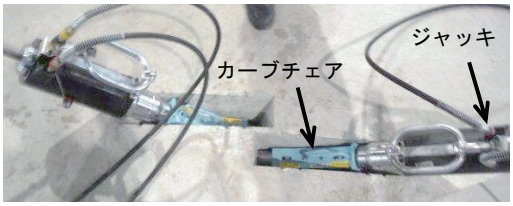


図－１　H型アンカーの配置概要図

図－２に緊張概要図，**写真－２**に緊張状況を示す。カーブチェアを配置し緊張することを標準とし，カーブチェアはPC鋼より線を30度曲げ上げて緊張することができるチェアである。



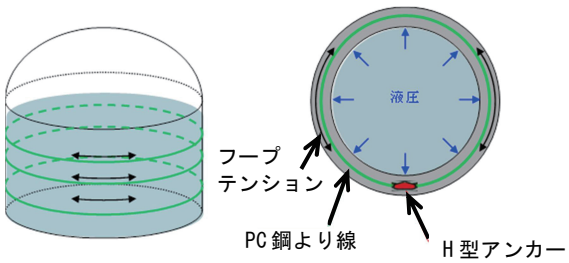
図－２　緊張概要図



写真－２　緊張状況

2.2　H型アンカーの使用用途

図－３にタンク型構造物適用例を示す。貯水タンク・LNGタンク・シールドセグメントでの使用を想定しているが，円筒形構造物に限らず，構造物に特別な定着突起が不要であることから，意匠上，躯体外部へPC鋼材定着具を配置できないなど，施工条件に制約があるさまざまな建築物のスラブなどへも適用が可能である。

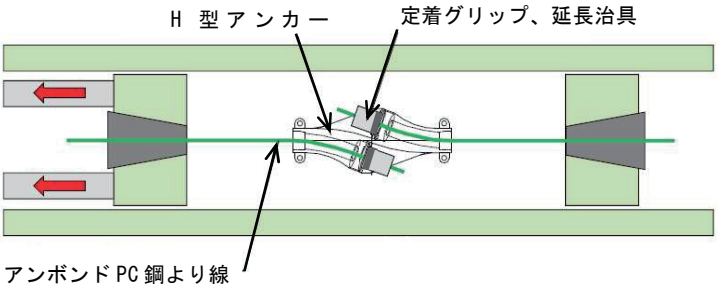


図－３　タンク型構造物 適用例

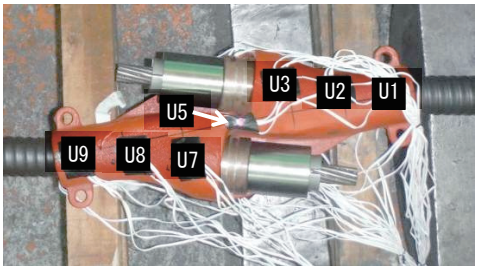
３．性能確認試験

3.1　定着性能

H型アンカーの定着効率およびアンカー本体に発生するひずみを引張試験により確認した。**図－４**に試験概略図，**写真－３**に試験状況を示す。U1～U9位置に3軸ひずみゲージを貼付け試験を実施した。



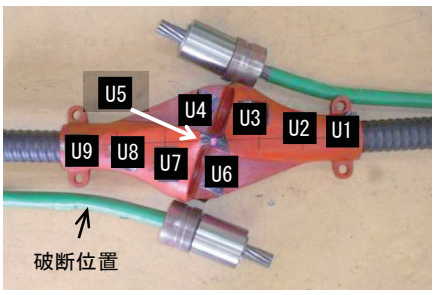
図－４　試験概略図



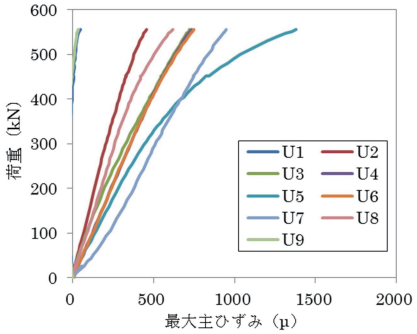
写真－３　試験状況

引張試験の結果，破断荷重は556kN，21.8mmPC鋼より線の規格最大試験力573kNに対する定着効率は97%であり，判定基準95%以上[1)]を満足した。**写真－４**に試験後供試体を示す。破断位置はH型アンカー内部のPC鋼より線挿入口付近であり，定着グリップの性能についても問題はなかった。

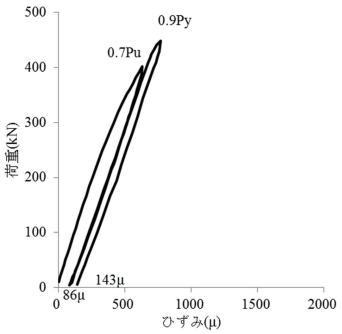
試験荷重と最大主ひずみの関係を**図－５**に示す。U5位置で最も大きなひずみ値となり，PC鋼より線の破断時に1379μであった。また、残留ひずみ測定結果を**図－６**に示す。PC鋼より線の緊張作業中の許容引張力0.9Py（445.5kN）載荷後に発生した残留ひずみは143μであった（Py：PC鋼より線の0.2%永久伸びに対する試験力）。H型アンカーに生じる変形は完全な弾性変形ではないと考えられるが，H型アンカーの材質FCD500の降伏ひずみ1882μに対して十分小さく，著しい変形は生じていないと考えられる。さらにH型アンカーはコンクリートに埋設されて使用するため，実使用状態においてはコンクリートの拘束によりさらに残留ひずみは小さくなることを考えると，実用上問題のない範囲であると考えられる。なお，コンクリートへの影響については，次節3.2で述べるが，有害な引張ひずみは発生しておらず，ひび割れも確認されなかった。



写真－４　試験後供試体



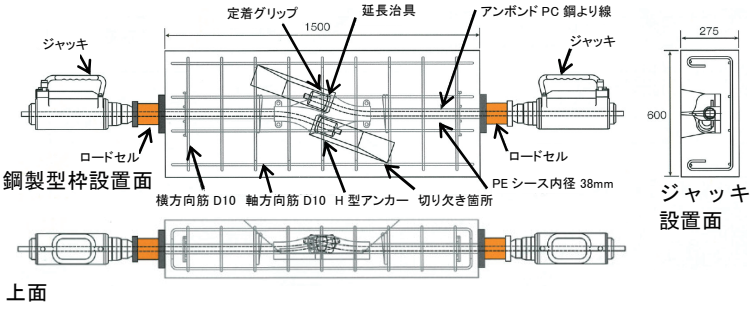
図－５　試験荷重と最大主ひずみ



図－６　残留ひずみ測定結果

3.2　躯体コンクリートへの影響

コンクリートにH型アンカーを埋設し，コンクリート表面に発生するひずみを確認した。コンクリート供試体と載荷状況を**図－７**および**写真－５**に示す。コンクリート供試体はH型アンカー定着部を模擬し，幅は鋼製型枠が収まる600mm，厚さは分割型PC推進管の寸法[2]を参考に275mmとした。緊張荷重はPC鋼より線の許容引張力0.9Py（445.5kN）とした。



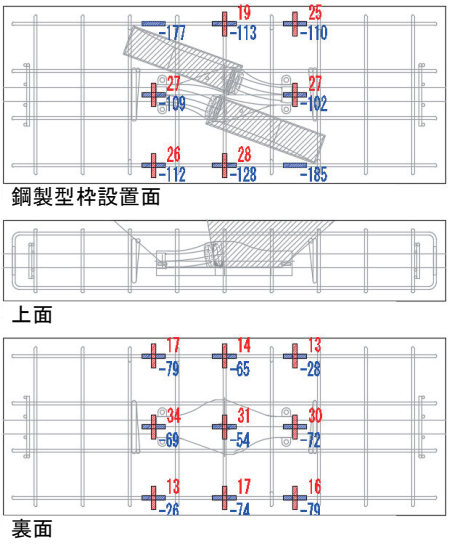
図－７　コンクリート供試体と載荷状況

写真－５　載荷状況

図－８に0.9Py（445.5kN）時のひずみ分布（＋(赤)が引張，－(青)が圧縮ひずみ）を示す。軸方向にはプレストレスによる圧縮ひずみが最大185μ発生したが，コンクリートの圧縮破壊時のひずみ3500μと比較して十分に小さな値であった。また，軸直角方向は引張ひずみが最大34μ発生したが，ひび割れ発生ひずみ79μには至らず，ひび割れの発生は確認されなかった。なお，ひび割れ発生ひずみは以下より算出した[3]。

コンクリートの引張ひずみ

- 試験時コンクリート圧縮強度f'c：平均30.3 N/mm^2
- 引張強度：$f_t=0.23f'c^{2/3}=2.24$N/mm^2
- 弾性係数：$Ec=(2.2+(f'c-18)/20)\times10^4=28150$N/mm^2
- 引張破壊ひずみ：$\varepsilon_t=f_t/Ec\times10^6=79\mu$



図－８　0.9Py 時のコンクリートひずみ分布

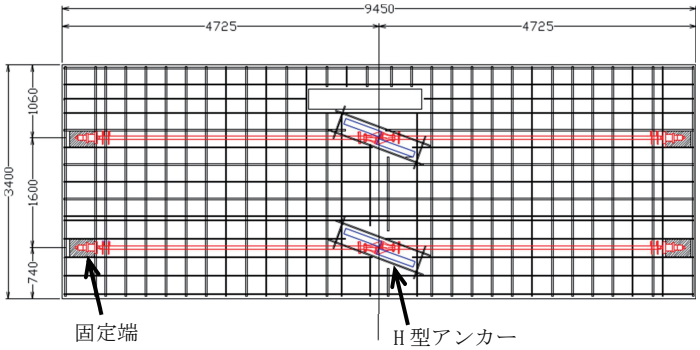
3.3　Ｈ型アンカーの繰返し載荷試験

建築構造物への適用に向け、日本建築学会（Ⅲ種PC）構造設計・施工指針・同解説の地震時を想定した低サイクル試験[4]を実施した。定着具に作用している緊張力が地震時に大きな振幅で変動することを想定し，PC鋼より線の規格最大試験力（Pu）に対して下限荷重0.5Pu，上限荷重0.9Puとする50サイクルの繰返し加力後，0.95Pu以上の荷重を加力した。なお，3.1定着性能の試験時において最も大きなひずみ値を示したU5位置に3軸ひずみゲージを貼付け試験を実施した。

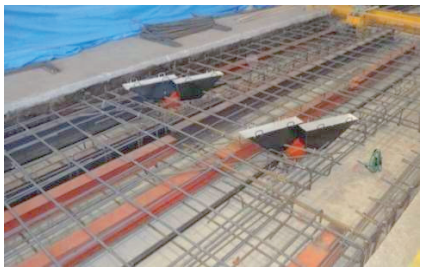
50サイクル繰返し加力，0.95Pu以上の荷重加力後においてもPC鋼より線は破断せず、560kNを目途に加力を終了した。発生した最大主ひずみは，50サイクル繰返し加力後で1224μ，0.95Pu以上の加力時の最大値は1428μであり，H型アンカーの材質FCD500の降伏ひずみ1882μを超えていないことから，有害な変形は生じていないと考えられる。地震時を想定した繰返し加力時においても定着具としての安全性を満足しており，意匠上，躯体外部へPC鋼材定着具を配置できないスラブなど（耐力壁以外の壁，小梁など，大きな繰返し応力，もしくは繰返し強制変形を受けない構造部材）へもH型アンカーの適用が可能である。

４．施工性確認試験

H型アンカーの試験施工および試験緊張を実施し，荷重伝達性能を確認した。**図－９**に試験施工概要図，**写真－６**にコンクリート打設前のH型アンカー設置状況を示す。長さ9450㎜×幅3400㎜のコンクリート部材中心にH型アンカーを2体埋設し，コンクリート部材の両端に固定端を設置した。



図－９　試験施工概要図



写真－６　H型アンカー設置状況

中心部のH型アンカー箇所を緊張端，躯体端部を固定端とし，カーブチェアを使用し緊張作業を実施した。緊張端箇所での緊張力を400kNとし，固定端箇所に伝達する荷重をロードセルにより計測した。計測の結果，固定端箇所での荷重損失率は平均12.4％であった。H型アンカー，カーブチェア，ケーブルの摩擦損失設計値より計算される荷重損失率は14.2％であり，十分な荷重伝達性能を有していることを確認した。荷重損失率の計算値を以下に示す。

荷重損失率：$\gamma = \{1-(1-\gamma a)\times(1-\gamma c)\times(1-\gamma f)\}\times 100 = 14.2\%$
H型アンカーによる摩擦損失率設計値　：$\gamma a = 5.0\%$
カーブチェアによる摩擦損失率設計値　：$\gamma c = 9.0\%$
ケーブルの摩擦による損失率　：$\gamma f = (1-Px/Po)\times 100 = (1-e^{-\lambda \ell})\times 100 = 0.80\%$
Px：xの位置におけるケーブルの引張力
Po：緊張端におけるケーブルの引張力400kN
λ：アンボンドPC鋼材の波打ちによる摩擦係数0.002(1/m)
ℓ：ケーブル長さ4m

５．おわりに

H型アンカーの性能確認により，アンカーの安全性，荷重伝達性能に問題がないことを確認した。また，コンクリート打設，鋼製型枠脱型，グラウト，切り欠き部埋設まで一連の試験施工を実施し，施工性に問題がないことを確認した。H型アンカーが各種構造物の施工性向上の一助となれば幸いである。

参考文献

1）(公社)土木学会：コンクリートライブラリー第66号 プレストレストコンクリート工法設計施工指針，pp.14～15，1991.3
2）超大口径ＰＣ推進工法研究会：超大口径PC推進工法-技術資料-，pp.5，2010.3
3）(公社)土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書・設計編，pp38～43，2017.3
4）(一社)日本建築学会：プレストレスト鉄筋コンクリート（Ⅲ種PC）構造設計・施工指針・同解説，pp.286～289，2013.4