

永久アンカーを併用した異種基礎建物の布基礎のひずみ測定

小川 敦* 増子 寛** 梅田正芳** 黒岩喜久雄***

支持層に高低差がある場合、建物の基礎は異種基礎になることがある。建物のアスペクト比によっては基礎が地震時に浮き上がりを生じ、その対策として永久地盤アンカーを用いる場合がある。このような場合、基礎部材はアンカーの緊張定着により2次応力を受けることが知られているが、その挙動は不明確であり、さらに本件のように岩質地盤からの地反力による影響はよく分かっていない。

本報では、永久アンカーを併用した異種基礎における基礎部材のひずみ計測を実施し、基礎工事開始から建物竣工までに生じたひずみの変動について報告する。

キーワード：永久アンカー、異種基礎、現場計測

1. はじめに

検討対象とした共同住宅では、支持層に当たる硬質な砂岩のレベルが敷地内で異なるため、杭基礎部分と布基礎部分が混在する異種基礎を採用している。さらに本物件では、布基礎部分の地震時の浮き上がり防止対策として永久アンカーを用いている。このような複雑な基礎形式の基礎部材に生じる応力は不明確であり、計測により実際の応力を把握した報告例は少ない。

本報文では、永久アンカーを併用した異種基礎における基礎部材のひずみ計測を実施し、基礎工事開始から建物竣工までに生じたひずみの変動について報告する。

2. 地盤概要

地盤は、埋土の下に沖積土層、基盤層が構成され、沖積土層は砂質土と粘性土が互層となっている。支持層は上総層群野島層であり、硬質な部分と固結度の低い部分とが混在する暗灰色の砂岩である。所により浮き石を混入する。N値はいずれも50以上である。分布する深度は敷地内で様でなく、埋没谷を形成している箇所が2ヶ所存在する。Fig.1 にボーリング図と推定地質断面を示す。

3. 建物概要

Fig.2 に建物の基礎伏図と沈下計測位置を、Fig.3 にA棟の軸組図を示す。当該建物は、A～C棟の3棟からなり、各棟ともスパンが6.0～7.2 m、15階建ての板状建物である。ただし、A棟は建物北西側に向かって、15階から1スパンずつセットバックし、9階に至る立面形状である。同様に、C棟も建物北側に向かって、15階からセットバックし、6階に至る形状である。セットバックする一部

のフレームを除き、短辺方向の各通りには連層耐震壁が配置されている。

4. 基礎構造の計画概要

基礎計画は、前述した地盤条件に配慮して砂岩までの深度が浅い部分は布基礎を、深い部分は砂岩を支持層とする杭基礎を採用した。

A、C棟ともにセットバックした形状をしていることと建物偏心を制御するためにセットバック部短辺方向 RC壁の一部に構造スリットを設けているため、セットバック部以外のフレームに応力が集中し、A棟南東側、C棟南側の建物端部に引抜力が発生している。杭基礎部分はその地盤との摩擦力により浮き上がりに抵抗できるが、布基礎部分は引抜力に対する抵抗が困難なため、浮き上がり対策として永久アンカーを採用した。

永久アンカーは、各フレームの設計地震力により、1次設計時においては、地盤と基礎が離隔しないこと、また、永久アンカーの引張材に作用する力が、許容引抜力以下であることを目標にアンカー本数（A棟：46本、C棟：42本）および有効緊張力を決定した。なお、アンカー位置は基礎部分にねじれが生じにくい配置を選定した。永久アンカー緊張時期は、施工工程との兼ね合いから6階床コンクリート打設後とした。導入緊張力には、永久アンカー定着後に構築される躯体の重量により建物が即時沈下するため、それによる緊張力の低下分を加算した。

Fig.4 に基礎設計時に使用した解析モデルを示す。Fig.5 にはA棟のAb通りアンカー緊張力を含めた長期荷重時の基礎梁の曲げモーメントおよびせん断力を示す。

*	技術研究所	地盤基礎研究グループ
**	首都圏支店	建築事業部 設計部構造設計グループ
***	首都圏支店	建築事業部 建築部第2工事部横須賀工事事所

解析モデルは杭体および基礎梁を梁要素、杭先端および布基礎部を鉛直ばねと地震時検討用の水平ばねで支持している。図中には示していないが、1階床スラブは板要素として考慮した。また、布基礎部分の梁中央にもばねを設けている。アンカー荷重を含めた長期軸力に対する布基礎部分の鉛直ばねおよび杭基礎部分の鉛直ばねは、支持層である砂岩の平板載荷試験の結果(ヤング係数 $E=3920\text{MN/m}^2$)を基に算出した。布基礎の地盤ばねは、深度方向に半無限な地盤を仮定した円形基礎の静的ばね定数の算定方法¹⁾に基づき算出し、 $816\sim 1603\text{MN/m}$ のばね値を採用した。また、杭先端地盤ばねは、地盤の周面摩擦力を無視して、杭先端におけるSteinbrennerの近似解²⁾による沈下量から算出し、 $\phi 2000$ の杭で1241

MN/mのばね値を採用した。杭体の軸剛性は梁要素の軸剛性として考慮した。外力は建物荷重とアンカーの緊張力を柱位置に集約した。

5. 基礎部材の応力計測計画

Fig.6に布基礎の鉄筋歪み計測断面、Fig.7にその平面位置およびアンカー緊張力の計測位置を示す。計測対象は、(a)引抜力が生ずる柱直下、(b)基礎梁スパン中央、(c)布基礎と杭基礎の基礎形式が切り替わる部分および(d)永久アンカー近傍とした。基礎梁上端、下端主筋の歪みは、配筋完了後に現場で歪みゲージを貼り、フーチ

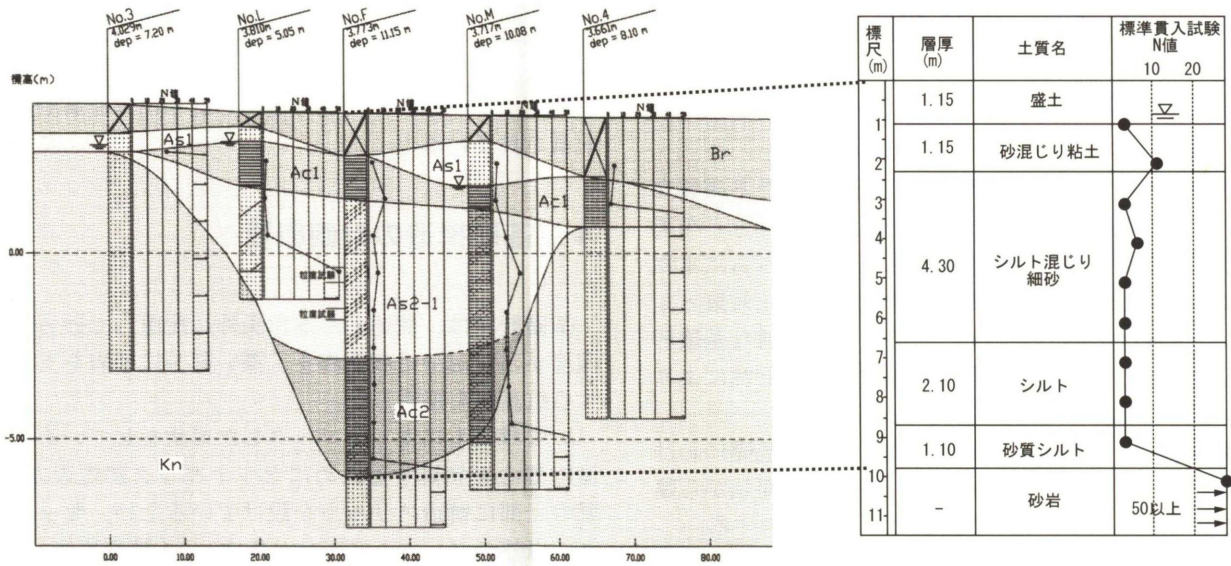


Fig.1 ボーリング図および推定地質断面

- 永久アンカー：A棟46本、C棟42本
- ()内は建物沈下量計測位置を示す

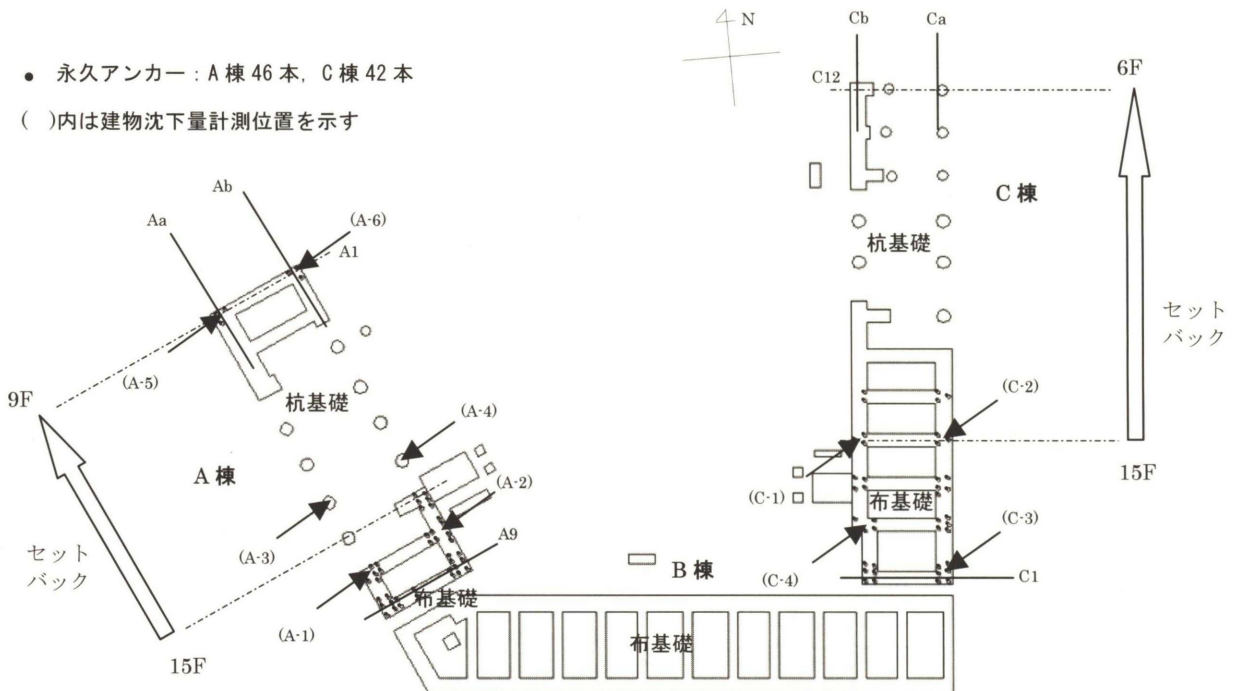


Fig.2 基礎伏図

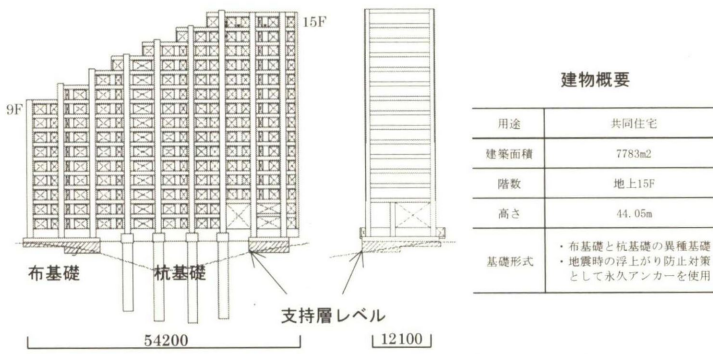


Fig. 3 軸組図 (A棟)

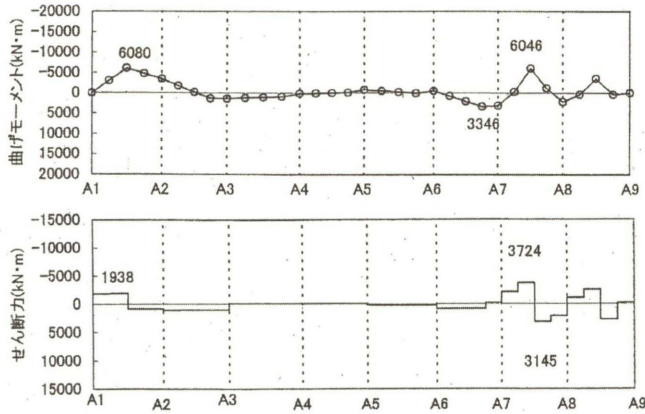


Fig. 5 アンカー緊張力と長期荷重時による基礎梁の応力分布 (Ab 通り)

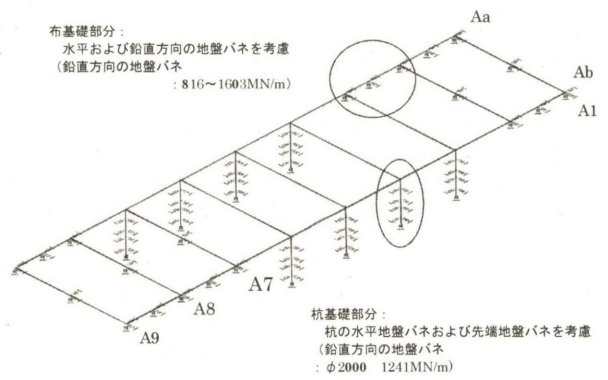


Fig. 4 解析モデル (A棟)

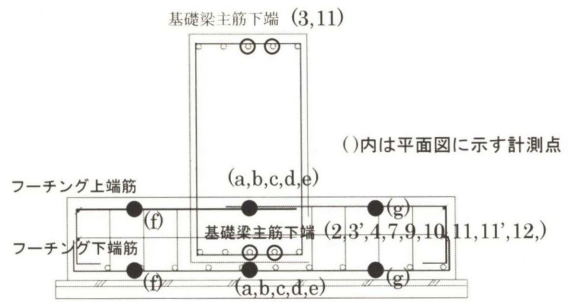


Fig. 6 基礎部材の計測位置 (断面)

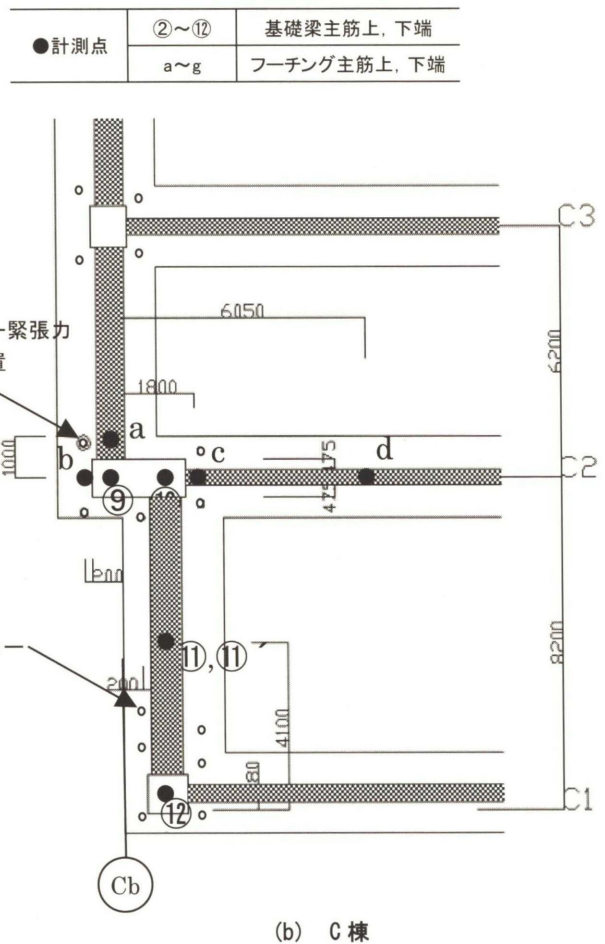
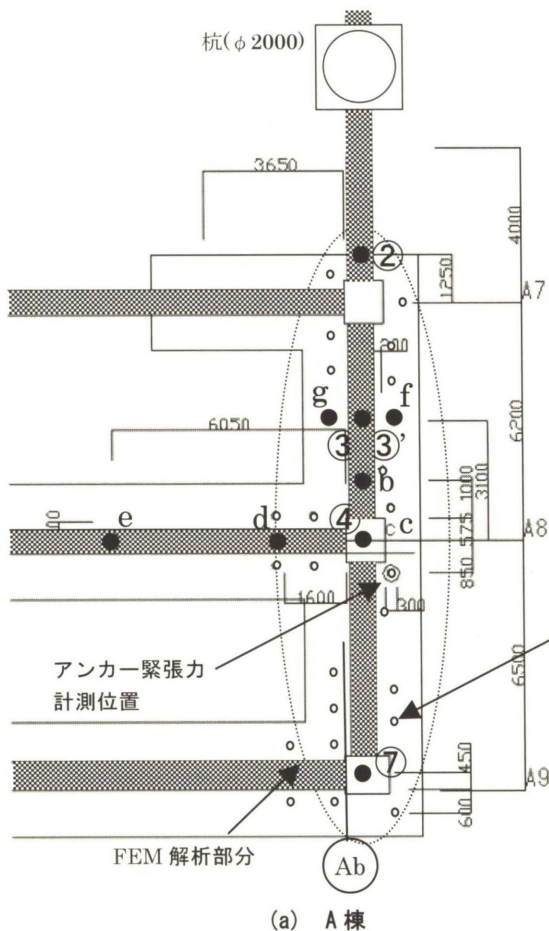


Fig. 7 基礎部材の計測位置 (平面)

ング上端，下端主筋の歪みは，歪みゲージを貼った計測用の鉄筋を所定の位置に配筋する方法で計測した。計測頻度は，フーチングのコンクリート打設前を初期値として，(0)フーチングのコンクリート打設から概ね1週間後，(1)基礎梁のコンクリート打設直後，(2)基礎梁のコンクリート打設より概ね1週間後，(3)建物6階床スラブ打設後(永久アンカー定着前)，(4)永久アンカー定着後，(5)8階床スラブ打設後，(6)12階床スラブ打設後，(7)15階床スラブ打設後(建物上棟)，(8)建物竣工時の9段階の作業工程とした。

6. 計測結果

6.1 フーチング主筋の歪み

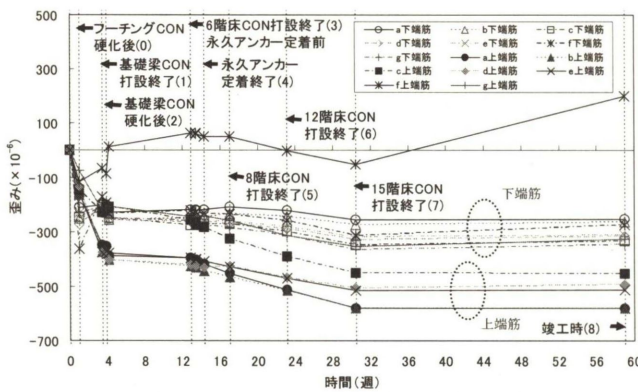


Fig. 8 A棟のフーチング主筋の歪みの経時変化

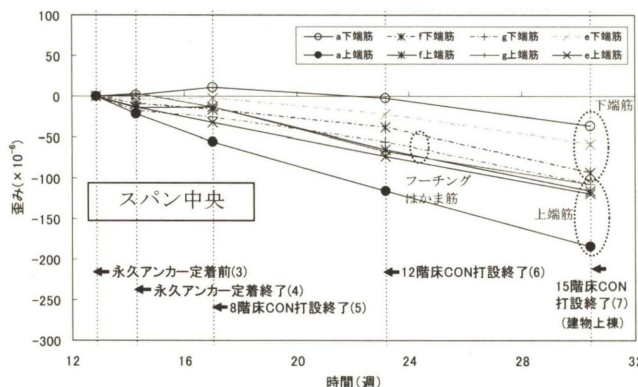


Fig. 9 A棟のフーチング主筋の歪みのアンカー緊張定着から建物上棟までの経時変化

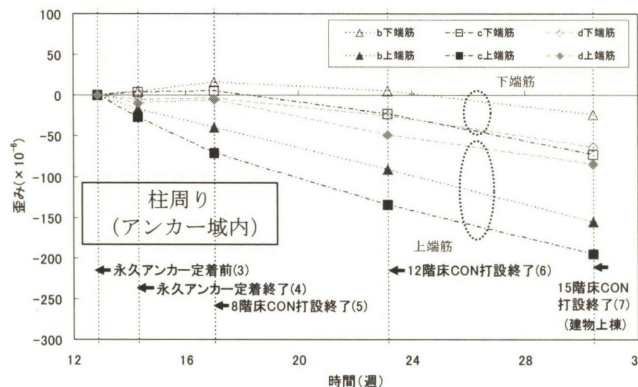


Fig. 10 A棟のフーチング主筋(中央)の歪みのアンカー緊張定着から建物上棟までの経時変化

Fig. 8~13 にフーチング主筋の歪みの経時変化を示し、(0)~(8)の作業工程を付記した。Fig. 8, 11 は竣工時までの全工程の歪みの変動を見るために、フーチングのコンクリート打設前を初期値として示した。

Fig. 9, 10, 12, 13 は永久アンカーの緊張定着およびその後の建物構築による変動を見るために、アンカーの緊張定着前を初期値とし15階床 CON 打設終了(建物上棟)までを示した。

これらにより，以下の挙動が見られる。

- 上端，下端主筋ともに，建物の構築が進むに従って圧縮ひずみが増加した。
- アンカー緊張力定着前後の歪み変動量は非常に小さい。
- アンカーの緊張定着から建物上棟までの(3)~(7)の

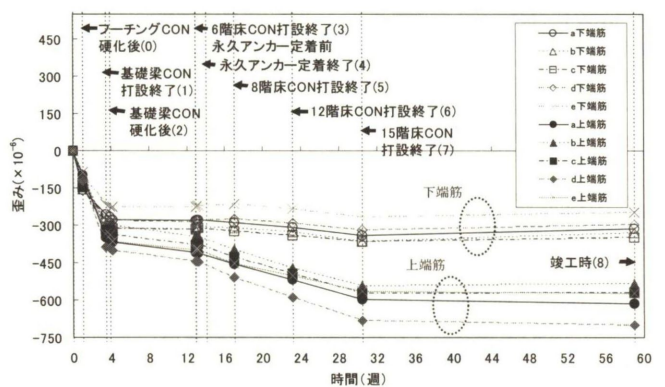


Fig. 11 C棟のフーチング主筋(中央)の歪みの経時変化

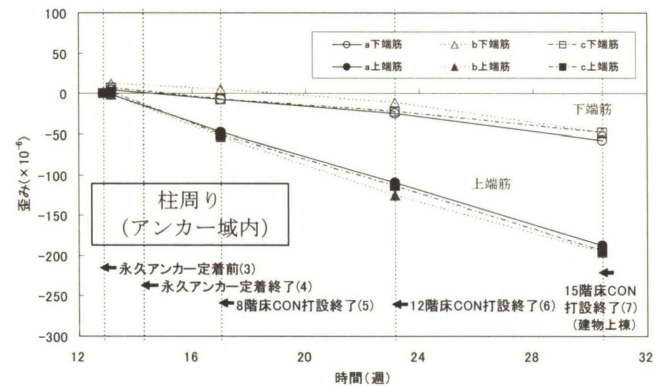


Fig. 12 C棟のフーチング主筋(中央)の歪みのアンカー緊張定着から建物上棟までの経時変化

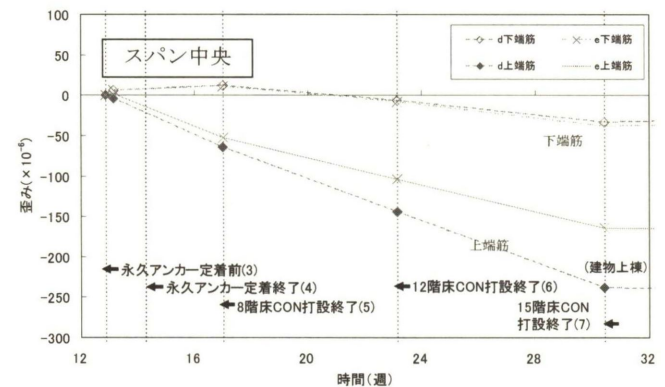


Fig. 13 C棟のフーチング主筋(中央)の歪みのアンカー緊張定着から建物上棟までの経時変化

作業工程における圧縮ひずみは、下端筋に比べて上端筋の方が大きい。このとき、フーチングのはかま筋では、上端筋と下端筋の差が小さい。

a), b), c)については、次の要因が考えられる。

- ① 本物件のように、地震時の引抜力に対して基礎構造にねじれの生じないよう永久アンカーを配置した場合、その間隔にもよるが当該配置では、布基礎部分は柱荷重とアンカーの緊張力で全体が一体となって押し込まれるような状況になるものと考えられる。このとき、地盤の剛性が非常に大きいと発生する弾性沈下量は少なくなる。したがって、永久アンカー間あるいは柱と永久アンカーの間で曲げ変形は生じにくいから、引張歪みは生じにくくなる。建物荷重の増加が基礎全体の即時沈下につながりそれと同時に残留しているアンカー緊張力による再押し込みといった現象が重なり、基礎部材の圧縮ひずみを増加させる要因になったと考えられる。
- ② ちなみに、建物荷重とアンカー緊張力の比較を行うと、計測対象とした範囲近傍におけるアンカー緊張力の合計は、対象範囲内の布基礎が負担するそれまでに構築された建物荷重の約3倍と非常に大きい。さらに、地盤の剛性が非常に大きいことと、フーチングが高さ1300mm×幅3000mmという形状で非常に高い剛性を有する。そのために、アンカーの緊張定着によって、アンカー間で曲げ変形が生じるような沈下が発生しなかったと推測される。

- ③ フーチング中央位置の歪みは、地反力によって上端が圧縮、下端が引張になりやすいが、アンカー緊張定着後の建物荷重の増加による押し込み効果のほうが優勢なために、より上端筋の圧縮歪みが大きくなったと考えられる。また、はかま筋は建物荷重よりも大きい永久アンカーの緊張力によってフーチングが強く押し込まれているため、上端筋と下端筋の差が現れにくい。

6. 2 基礎梁主筋の歪み

Fig. 14~17 に基礎梁主筋歪みの経時変化を示し、(0)~(8)の作業工程を付記した。Fig. 8~13と同様の観点から、Fig. 14, 16 はフーチングのコンクリート打設前を初期値とし、Fig. 15, 17 はアンカーの緊張定着前として建物上棟までを示す。基礎梁主筋の歪みは2本の歪みゲージの平均値とした。これらの計測結果より、以下の挙動が観察された。

- a) 基礎梁主筋下端 4(A棟柱下)を除いて、建物の構築が進む工程(2)~(7)で圧縮ひずみが増加した。
- b) アンカー緊張力導入前後の歪みの変動量は非常に小さい。
- c) 建物上棟後から竣工までの作業工程(7)~(8)の間で各計測点において圧縮歪みが減少する方向に変動している。

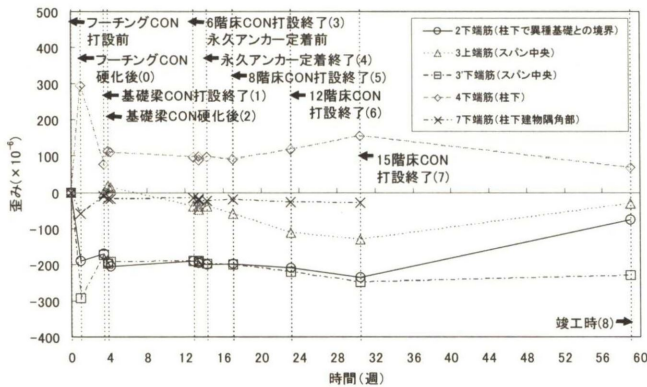


Fig. 14 A棟の基礎梁主筋歪みの経時変化

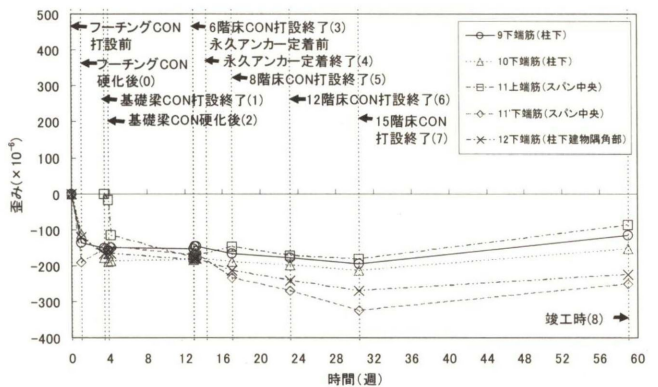


Fig. 16 C棟の基礎梁主筋歪みの経時変化

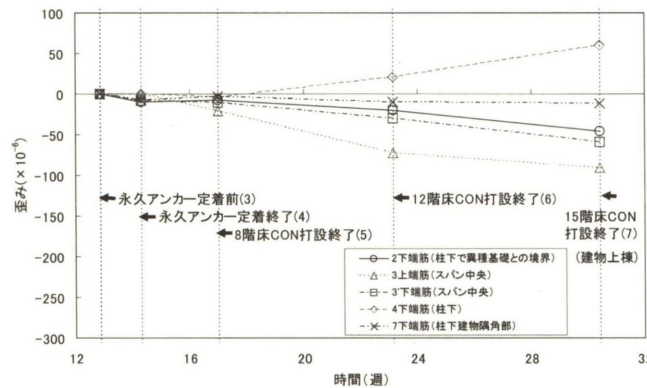


Fig. 15 A棟の基礎梁主筋歪みのアンカー緊張定着から建物上棟までの経時変化

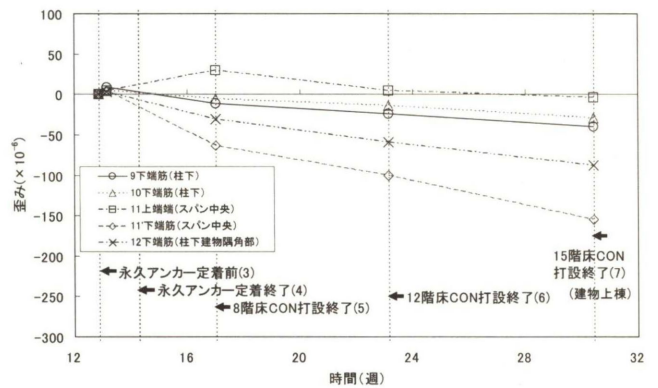


Fig. 17 C棟の基礎梁主筋歪みのアンカー緊張定着から建物上棟までの経時変化

d) 竣工時点でのスパン中央下端筋の歪みは、A 棟、C 棟ともに、他の計測点よりも大きい圧縮歪みとなった。

a), b) は次の要因が考えられる。

- ① フーチングの主筋における圧縮歪みの増加と同様に、地盤の剛性が非常に高いことから、建物荷重の増加およびアンカーの緊張力により基礎梁の曲げ変形が生じるような沈下は起きにくい。基礎梁の中央上端主筋あるいは柱下の下端主筋のように引張歪みが発生する位置でも引張歪みは生じにくく、建物荷重およびアンカー緊張力による基礎全体を押し込む効果により圧縮歪みが増加したと考えられる。
- ② フーチングの主筋の挙動と同様に、地盤の剛性が非常に大きいこと、フーチングの剛性が高いことから、アンカーの緊張定着によって、アンカー間あるいはアンカーと柱間で曲げ変形が生じるような沈下が発生しなかったと推測される。

6. 3 建物の沈下と基礎部材のひずみの関係

Fig. 18, 19 に作業工程(4)~(7)の間で Fig. 2 に示す位置において実施した沈下量計測の結果を示す。A 棟では、杭基礎部分についても計測を行った。初期値は永久アンカーの緊張定着前とした。また、定着後の永久アンカーの緊張力の変動を確認するため、作業工程(3)~(8)における A, C 棟の永久アンカーの緊張力の計測を行った。計測位置は Fig. 7 に示す位置とした。A 棟と C 棟の傾向が同様であるため、A 棟のみについて Fig. 20 に永久アンカー緊張力の経時変化を示す。図中には全計測値を対数近似した直線を併記するが、永久アンカー緊張力は 60 年後においても設計値を上回ると予測される。

これらにより、以下の挙動が観察された。

- a) 永久アンカーの緊張定着による沈下量は布基礎部分で 2mm、杭基礎部分で 4mm 程度となった。永久アンカーについて、引抜試験から求めたばね値から緊張定着開始から終了までの緊張力の低下分に相当する沈下量を算出するとおよそ 3.5mm 程度となり、沈下計測結果に近い値となった。
 - b) 永久アンカー緊張定着後の建物構築による沈下量の変動は、A 棟では布基礎、杭基礎の基礎形式の差、Ab 通りと Ac 通りの差が見られるが、C 棟では、計測点の基礎形式に差がないため、桁行方向でほとんど沈下性状に違いがなかった。
- a), b) は次の要因が考えられる。

布基礎部分は、アンカーの緊張定着により、2mm 程度の沈下が発生しているが、桁行き方向について着目すると、A 棟では対応する結果がないため評価しにくい。C 棟に関しては不同沈下がほとんど発生していない。基礎梁の歪み計測結果でも推測されたように、アンカーの緊張定着によって建物は一体となってやや沈下しているが、布基礎部分において、基礎梁は曲げ変形の要因とな

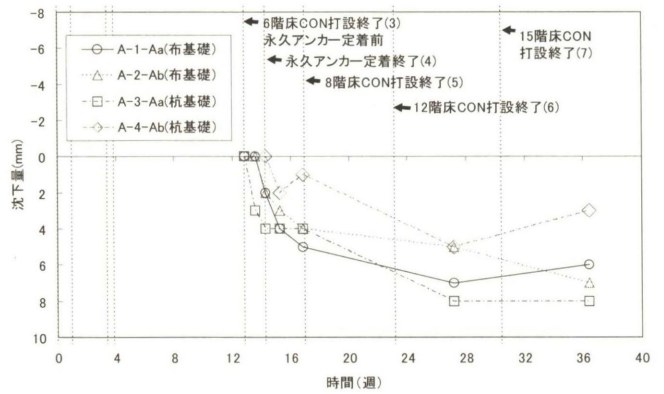


Fig. 18 A棟の沈下量

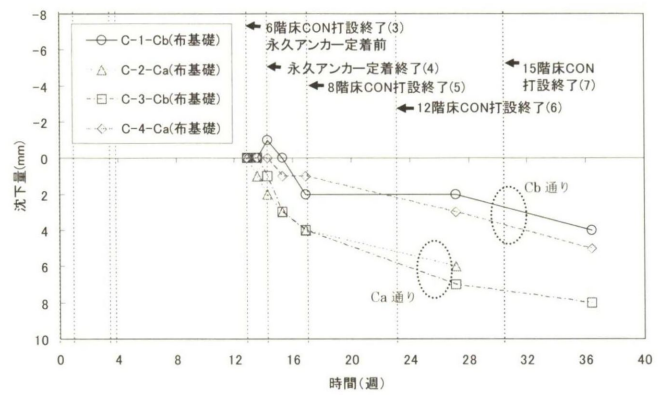


Fig. 19 C棟の沈下量

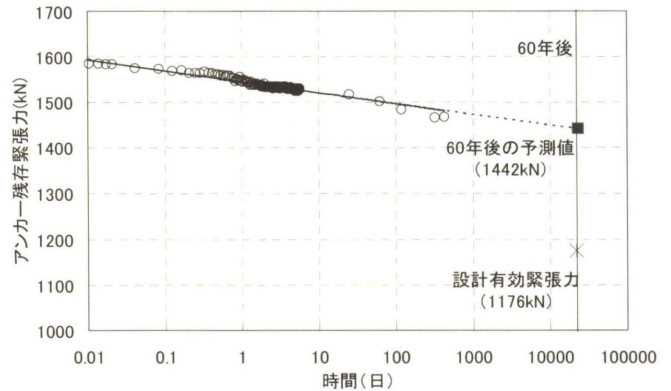


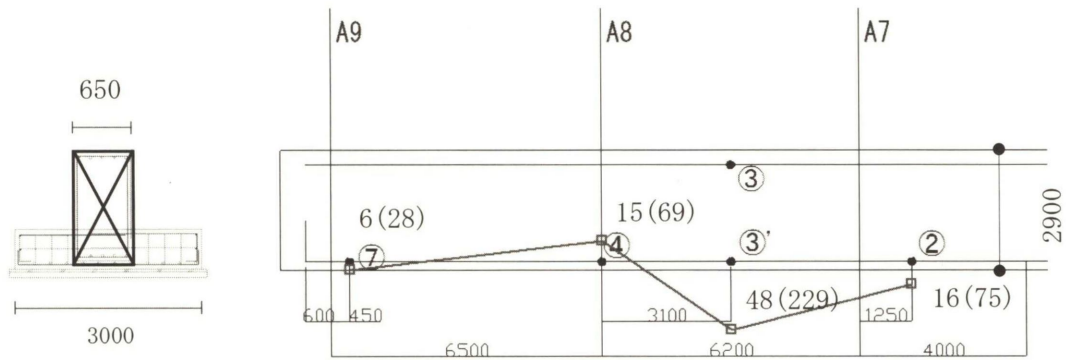
Fig. 20 永久アンカー残存緊張力 (A棟)

るような不同沈下は生じていないと考えられる。

7. FEMによる基礎梁応力の部分解析

Fig. 21 に Ab 通りの建物竣工時 (作業工程(8)) の基礎梁下端主筋の歪み分布を示す。フーチングのコンクリート打設前を初期値とした。引張歪みを生じた柱直下の基礎梁下端主筋の応力度の実測値は設計値の 1/13 程度となり、4 章で述べた格子梁ばねモデルでは実際の挙動を適切に評価しにくいと考えられる。そこで、A 棟の一部を取り出し 2 次元の FEM 解析を実施した。

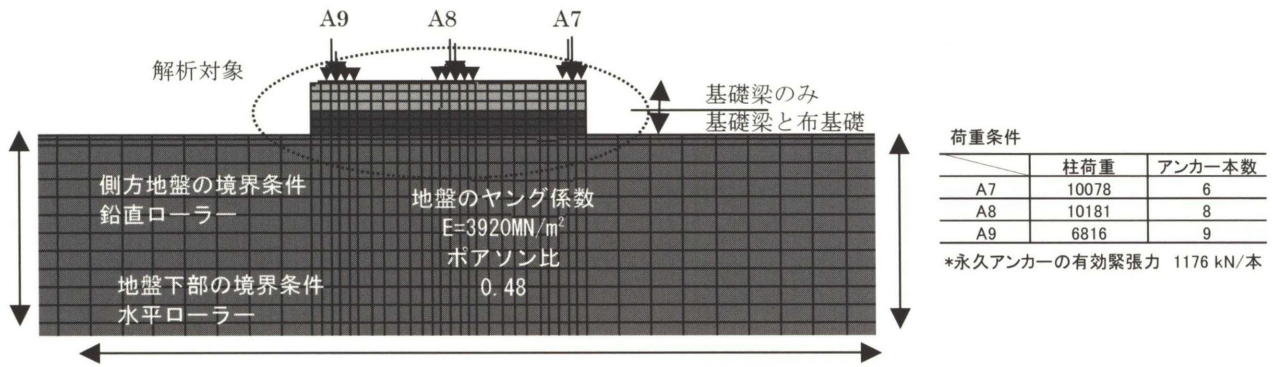
Fig. 22(a) に解析モデルを示す。地盤のヤング係数は、設計時と同様に支持層である砂岩の平板載荷試験の結果(ヤング係数 $E=3920\text{MN/m}^2$)を用いている。また、基礎



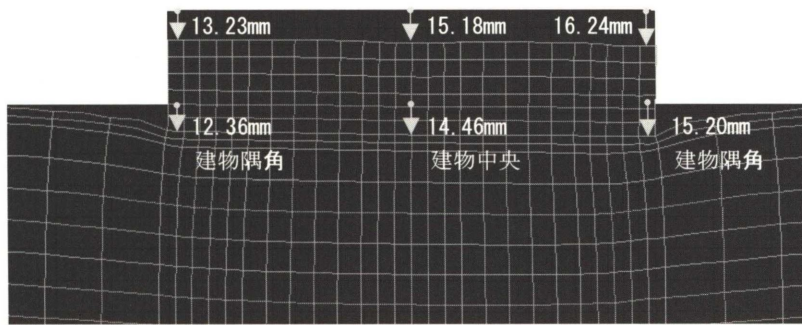
単位：N/mm²

()内単位：×10⁻⁶

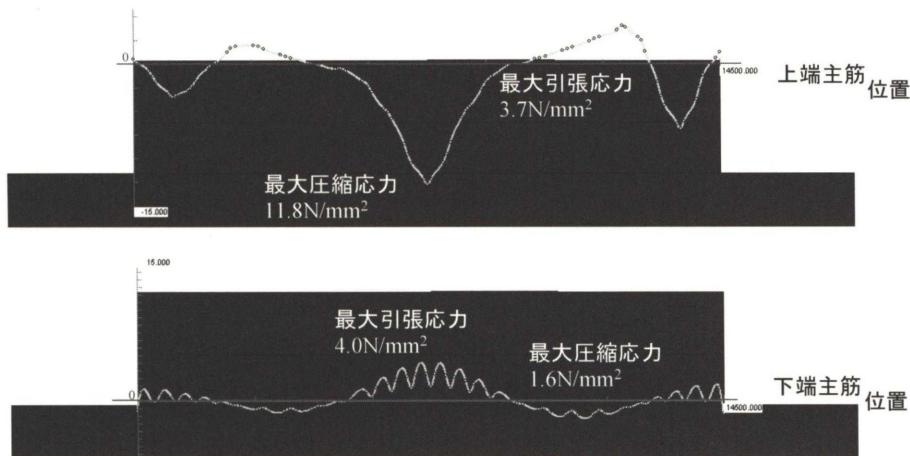
Fig. 21 Ab 通りの基礎梁主筋下端の応力 (歪み) 分布



(a) 解析モデル



(b) 変形図



(c) 基礎梁主筋の応力分布 (σx)

Fig. 22 FEM 解析結果

梁は、Fig. 21 に示す形状を持つコンクリート部材（鉄筋無し）とし、フーチング部分の剛性は奥行き方向の厚みとして考慮している。荷重は、解析対象範囲内にある柱荷重を柱幅の範囲で分布荷重として与え、永久アンカーの緊張力は定着位置近傍の要素上部に分布荷重に変換して与えている。

解析結果について Fig. 22 (b) に沈下量、(c) に鉄筋位置にあたる高さでの鉄筋の軸方向に相当する応力分布を示す。地盤の剛性の高さ、基礎梁の剛性の高さ、柱軸力およびアンカー緊張力等による外力が分散し重なり合うことから、柱間に部材角が生じるような不同沈下はほとんど生じず、基礎全体が地盤内へ沈み込んでいる。その結果、引張応力が生じにくく、基礎梁の大部分で圧縮応力を示しており、前述した計測結果に近い傾向が得られている。

8. まとめ

永久アンカーを併用した異種基礎の応力計測結果および FEM 解析結果より以下の知見を得た。

- ・ 建物上棟までの期間では、基礎梁およびフーチングとも一部を除き圧縮歪みを示す。これは、支持地盤の高い剛性や基礎部材の剛性の高さから、建物荷重やアンカー緊張力がフーチングや基礎梁を曲げ変形させるよりも、基礎全体を押し込む力として作用した影響であると考えられる。

- ・ アンカー緊張力導入前後の歪みの変動量は非常に小さい。本物件においては、支持地盤の剛性が非常に高いため、永久アンカーの緊張定着による基礎部材への曲げ変形はほとんど生じなかったと考えられる。本物件のような、永久アンカーを併用した布基礎で、支持層が剛性の非常に高い砂岩であるという特殊な条件の場合、基礎の設計手法として従来想定している地反力分布に基づく考えでは、その実際の挙動とに開きが見られた。構造物としての安全性を確保し、かつ、合理的な設計を行うには、荷重配置や基礎部材、地盤特性等に起因する基礎部材の応力状態を適切に評価可能な解析モデルの選定が重要である。

謝辞

計測にご協力をいただいた現場加藤副所長および構造工事(株)坂巻氏にこの場をお借りしてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 柴田明徳：最新耐震構造解析，2003年5月
- 2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針（2001），2001年10月
- 3) 日本建築学会：建築地盤アンカー設計施工指針・同解説（2001），2001年1月
- 4) 地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（JGS4101-2000），2000年3月
- 5) 梅田他：永久アンカーを併用した異種基礎における応力計測 その1，日本建築学会学術講演梗概集(B-1)，pp715～716，2005

Measurement of strain of composite foundation by anchoring

Atsushi OGAWA, Hiroshi MASHIKO, Masayoshi UMEDA and Kikuo KUROIWA

Abstract

For the composite foundation by anchoring, The behavior is indefinite, and the influence by the ground reaction from the rock quality ground is not understood well in addition like this case though it is known that the base material receives the secondary stress by the anchor's the tension settling. Neither the behavior nor the influence by the ground reaction from the rock quality ground like this case are understood well.

In this report, we reports on the stress in the footing foundation about the change from the foundation work beginning to the building completion..

Keywords: Ground anchor, Composite foundation, Monitoring on site
