

改良地盤に支持された中層免震建物の振動特性に関する研究  
 上部建物の進行に伴う土圧の変化

A Study on Dynamic Characteristics of a Middle-Rise and Base-Isolated Building Supported by Improved Ground  
 Variation of Earth Pressure according to the Progress of Construction

2. 構造 - 4. 基礎構造

土圧計測      深層混合処理工法      荷重分担  
 SOFO                  施工段階                  浸透流

正会員      ○後藤圭佑\*1  
 正会員      護雅史\*2  
 正会員      飛田潤\*3  
 正会員      福和伸夫\*4

GOTO Keisuke  
 MORI Masafumi  
 TOBITA Jun  
 FUKUWA Nobuo

1. 背景と目的

現在、名古屋市鶴舞地区において、病院建物の新築工事が行われている。当敷地においては、液状化の可能性のある地盤で直接基礎を実現するために、凍結サンプリング等の詳細な地盤調査に基づいて、地盤改良が行われた。これにより大幅なコストダウンが可能となった一方で、地盤を含む建物特性の施工時から竣工後に亘る長期的変化の確認や、さらに将来の大地震時の健全性の評価が課題となった。そこで、著者らは地震計・土圧計・変位計等による高密度モニタリングを行うことにした。特に、土圧に関しては建設中から計測を行っているが、建物の健全性を土圧計によって評価した事例は過去に少なく、部分的な地盤改良に起因する偏心によるねじれやロッキングの発生の確認等、地震時の安定性を直接的に評価することが可能である。

今回は、建物の施工段階における健全性の確認を目的として、定期的に土圧計測を行った結果について報告する。このような観測は過去に公表されている事例は比較的少なく、今後、建物-地盤の動的相互作用を土圧の観点から解明するための基礎的資料ともなり得る。

また、建物の施工過程が鉛直土圧・側面土圧に与える影響や、改良体と未改良部の荷重分担率の観点を中心に、観測データの分析を行った。

2. 建物及び敷地の概要

図1に建物の平面図及び立面図を示す。当該建物は、東西に約100m、南北に約50mの平面規模を有する、地下1階、地上4階の中層免震建物である。基礎構造はべた基礎で、厚さ約1.5mのコンクリート耐圧盤が深度GL-5mの位置にあり、その上に免震装置が設置されている。また、当敷地においては、深層混合処理工法による地盤改良が行われた。改良地盤は、深さ7m程度で敷地の約4分の3にあたる部分である。改良領域がL字型であるので、地震時には偏心によるねじれが生じる可能性

が考えられる。著者らが行った改良地盤の調査によると、改良体、未改良部のせん断波速度はそれぞれ800m/s程度、200m/s程度であり、改良地盤全体の等価せん断波速度は、400m/s程度である。

3. 計測の概要

著者らは、土圧計測を上部建物の施工に伴い、2週間隔程度で行っている。これまでの概略的な施工状況を示す。2008年2月中旬に地盤改良工事が完了し、3月下旬に耐圧盤のコンクリート打設が完了した。その後免震層、1階～4階の立上がり工事が一層毎に順次行われ、10月半ばには構造躯体の工事が完了し、現在は内装工事が行われている状況である。

図1に計測器の配置図を示す。底面土圧計は、改良地

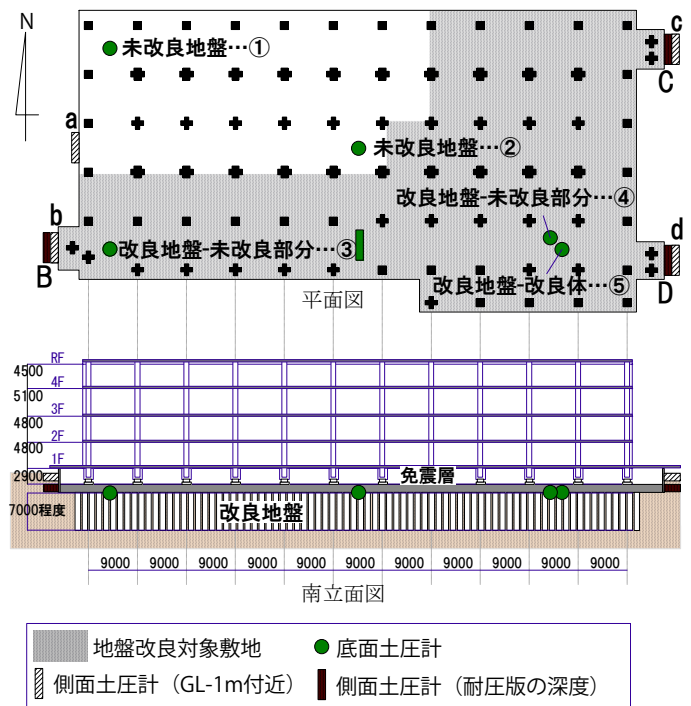


図1 建物概要及び土圧計の配置図

\*1 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院  
 \*2 名古屋大学大学院環境学研究科・准教授・博士(工学)  
 \*3 名古屋大学大学院環境学研究科・准教授・工博  
 \*4 名古屋大学大学院環境学研究科・教授・工博

\*1 Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya  
 \*2 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.  
 \*3 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.  
 \*4 Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

盤と耐圧盤の境界に設置し、マットスラブに作用する土圧を計測している。未改良地盤に2つ(①、②とする)、改良地盤の未改良部分に1つ(③、④とする)、改良地盤の改良体(ソイルセメントコラム)に1つ(⑤とする)設置し、各部における支持力を計測・比較することで、上部建物からの荷重分担を解明することを目的としている。また、構造躯体の工事は、平面的に6つの工区単位で行われているため、一部に集中的に作用する荷重増分が、耐圧版の下に至るまでにどう分担されるのか検討することも目的としている。また、完成後は地震時のロッキング等を計測する予定である。

側面土圧計については、当建物の免震構造における地下ピット外壁にGL-1mの位置に4つ、耐圧盤の深度に3つ設置し(それぞれ、a,b,c,d、B,C,Dとする)、計測を行っている。将来的には、地震時の水平土圧増分から、改良地盤の偏心に伴う地下ピットの振れや、地盤の緩み、外壁からの剥離等の現象を含む動的相互作用効果に対して基礎データの収集をはかることを目的としている。

また、土圧計に併せて光ファイバーセンサ<sup>1)</sup>(SOFO)を、③の付近の、改良地盤-未改良部分、改良地盤-改良体、耐圧盤内部に設置し、土圧計の結果と比較した。併せて、SOFO付近の温度(耐圧盤内部は除く)を計測し、SOFOの温度依存性を確認した。図2に各施工段階における荷重増分値を示す。これは、前回計測時から、次の計測時までの工期にコンクリートを打設したスラブ、壁、柱、梁や鉄骨重量の総和を概算したものである。

#### 4. 計測結果

##### (i) 底面土圧

図3に底面土圧の計測結果を、図4に耐圧盤下の地盤に作用する平均的な圧力として、耐圧盤を剛と仮定し、各施工段階における荷重増分値を耐圧盤の面積で除した値を示す。

図3の②、③を比較すると、未改良地盤と改良地盤-未改良部分の荷重分担に大きな差は見られない。

また、④の値は同じ改良地盤-未改良部である③の値に比べ非常に小さく、増減があまり見られない。また、⑤改良地盤-改良体についても④と比べ、若干大きな値を得たものの、同様のことが言える。底面土圧計は、土圧計の周りを細砂で埋め、閉め固めるという手順で設置を行ったのだが、締め固めが不十分であり、細砂が緩んでしまったという可能性が考えられるが、この点については検討の余地がある。

次に、図3、図4を比較する。図3の④、⑤については上記の理由から検討せず、②、③とのみ比較を行う。すると、荷重増分値から概算される耐圧盤下での平均的

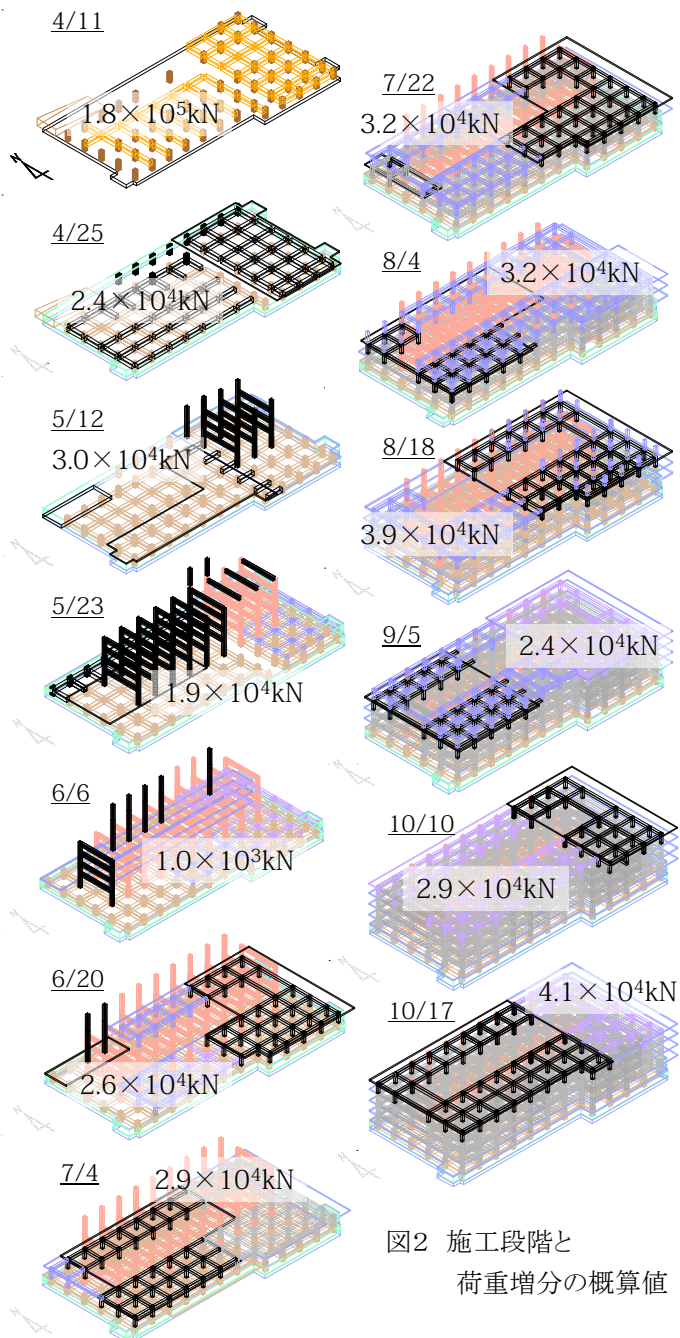


図2 施工段階と荷重増分の概算値

な圧力に対して、計測結果が小さいことが分かる。例えば、底面土圧計を設置してから耐圧版のコンクリートを打設しているため、平均的に33.6kPa土圧が上昇すると推定されるが、②、③の計測結果は、それぞれ約6kPa、7kPaとこれより小さい。これより、未改良地盤及び改良地盤-未改良部分が分担する荷重は小さく、改良地盤-改良体が大部分の荷重を支持している可能性が考えられる。

また、施工の進行に伴い、常時荷重が増加していくため、土圧の値も単調増加すると考えられるが、実際には計測値が一時減少したり、長期間に亘って単調減少していく点についても、今後検討の余地がある。

次に、②、③、④、⑤について9/5の計測値が顕著に高くなっているが、これは雨が影響している可能性が考えられる。図5に各施設階における名古屋市の降水量のグラフを示す。このグラフより、8月18日から9月5日の間に、非常に多量の雨が降ったことが分かる。8月29日未明には局所的な大雨が愛知県岡崎市に大きな被害を与えたが、名古屋市内においても道路が冠水する程の大雨が降った。図6に雨が土圧の増加に影響を与え得る根拠を示す。まず、集中的に降った多量の水は、捌けるのに時間を要するため、地下水位が上昇する。このため、浸透圧が生じ、土圧計に作用したことが可能性の一つとして考えられる。これは、耐圧盤直下もしくは耐圧盤底面の深度以上まで地下水位が高まる可能性を示唆しており、同建物の耐震安全性の確認に際しては貴重なデータとなり得る。ただし、この点の検証については今後の検討課題である。

(ii) 側面土圧

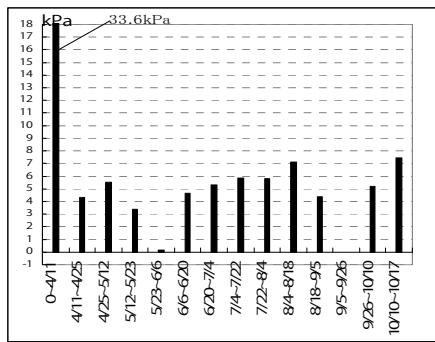


図4 耐圧版を剛と仮定し、荷重増分値を耐圧版面積で除した値

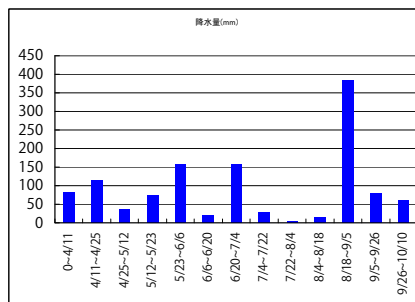


図5 名古屋市の降水量データ (気象庁: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> より)

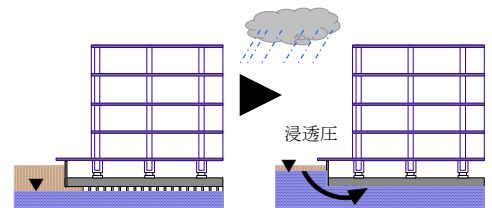
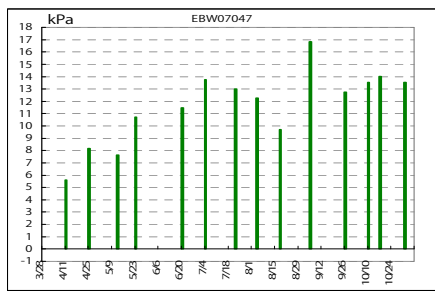


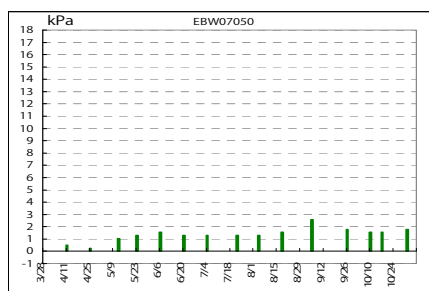
図6 地下水の上昇に起因する浸透圧

図7に側面土圧の計測結果を示す。なお、建物東側では、未だ埋め戻し土が設計GLの高さまで盛られていないため、浅部の側面土圧(c, d)は土圧を計測出来ていない。また、図8に、改良地盤-未改良部分、耐圧盤内部、改良地盤-改良体に設置したSOF0による変位の変化を、図9にSOF0付近(耐圧盤内部を除く)の温度変化を示す。

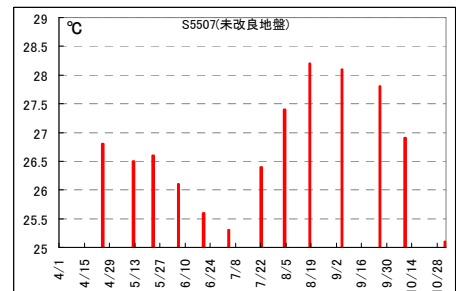
図7の a, b, C, D を見ると、D については結果が乱れているが、全体的な傾向として、8月初めまで単調増加した後、単調減少に転じている。この傾向は、耐圧盤内部のSOF0の結果によく対応している。また、図8と図9から、SOF0の温度と変位の傾向が対応していることから、SOF0は温度による影響を大きく受けると考えられる。ここで、耐圧盤内部のSOF0の結果より耐圧盤は約 $0.015\text{mm}$ 膨張し、これから推定される耐圧盤のひずみは、 $5 \times 10^{-5}$ となる。今回計測に使用している土圧計におけるひずみと土圧には、およそ $0.255 \text{ kPa}/10^{-6}$ という関係があるので、耐圧盤の膨張により、側面土圧計に圧力が作用して



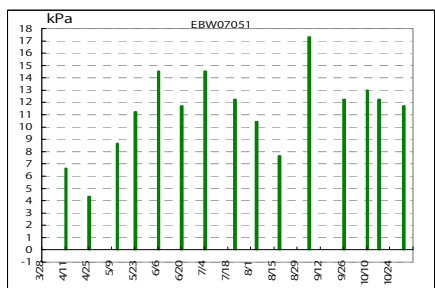
②未改良地盤



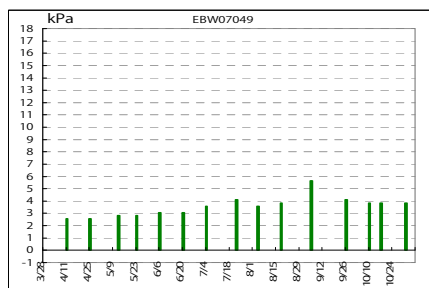
④改良地盤-未改良部分



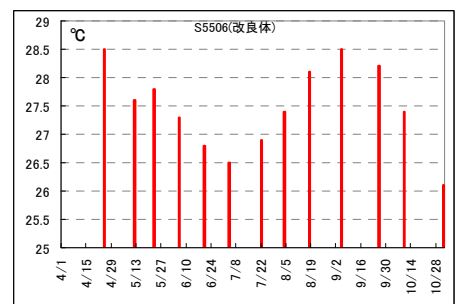
改良地盤-未改良部分



③改良地盤-未改良部分



⑤改良地盤-改良体



改良地盤-改良体

図3 底面土圧の計測結果

図9 SOF0付近の温度変化



いると考えると、その大きさは約 13kPa と概算される。この値は、耐圧盤の深度に設置された B,C 及び浅部に設置された a,b における側面土圧の最大値と最小値の差、それぞれ約 18kPa,12kPa、16kPa,17kPa に概ね対応する。

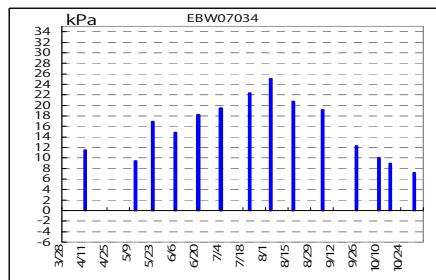
## 5. まとめ

本論では、名古屋市内で施工中の改良地盤に支持された中層免震建物の土圧計測及び分析を行い、施工中の建物の健全性の確認を試みた。その結果を以下にまとめる。

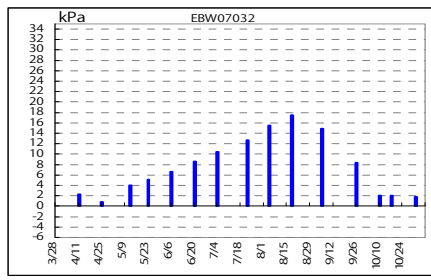
- 1) 未改良地盤と改良地盤の未改良部分における荷重分担はほぼ等しく、改良地盤の改良体は他の部分に比べて大きな荷重を支持していると考えられる。
- 2) 施工の進行に伴う荷重の増加に反して、特定の期間において、土圧の値が減少する場合が見られた。建設過程の偏荷重により、耐圧盤の変形が生じれば、部分的、一時的には荷重が減少する可能性もあるが、この点については今後有限要素法等を用いて、解析的に検討していく予定である。
- 3) 集中的に降る大雨が底面土圧の計測に与える影響が大きいと推定される。これは、地下水位が耐圧盤

の深度まで上昇する可能性を示唆しており、建物の健全性を確認するための重要なデータとなり得る。また、施工の進行に伴う荷重増分と底面土圧の関係を確認するためには、雨による影響を補正する必要がある。この点については、浸透流の観点から解析的に検証していく予定である。

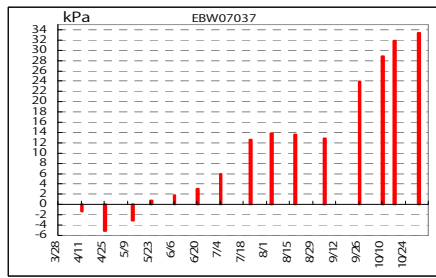
- 4) 側面土圧は耐圧盤の熱膨張の影響を大きく受けると考えられ、データの取り扱いには注意が必要である。また、複数の測定機器を用いて多面的に計測し、比較・分析することが大切である。
- 5) 本論では施工時の特性を確認したが、竣工後も定期計測を続け、長期に亘るモニタリングを通して、地盤・建物の特性、地震時の動的応答、地震後の損傷等を評価することで、建物の安全性・健全性を確認していくことも視野に入れている。今後も継続的な検討を行っていきたい。



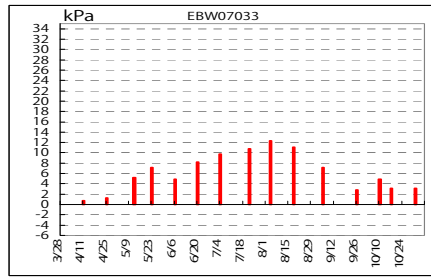
側面土圧 a



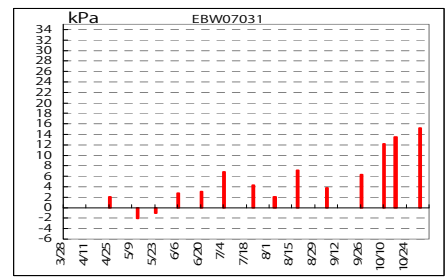
側面土圧 b



側面土圧 B



側面土圧 C



側面土圧 D

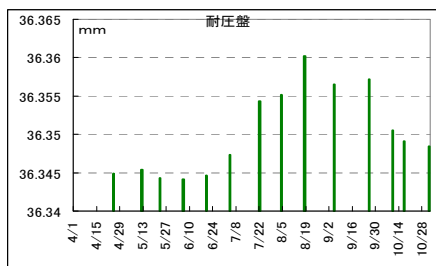
### 【参考文献】

1) 三上隆男: 光ファイバ変位センサ (SOFOセンサ) による構造物のヘルスマニタリング, IHI技報, Vol.47, no.4, 2007.12

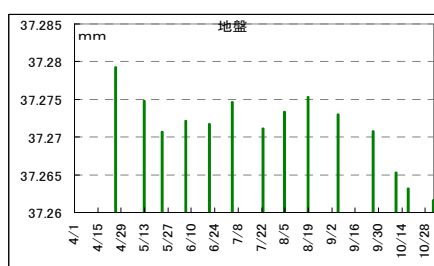
### 【謝辞】

本研究における土圧計の設置にあたり、東京測器研究所の内田勝正氏、西田恵一氏に御協力をいただいた。記して謝意を表す。

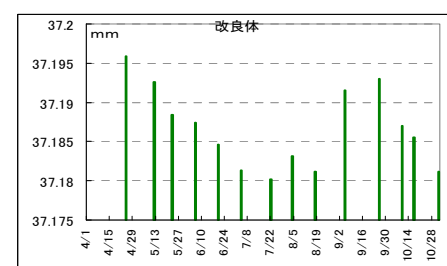
図7 側面土圧の計測結果



SOFO 耐圧盤内部



SOFO 改良地盤-未改良部分



SOFO 改良地盤-改良体

図8 SOFOによる変位の変化