

## 技術報文

## EPS 盛土の地震時挙動に対する実験及び解析

(株) CPC東京支社 西 剛整

## 1. はじめに

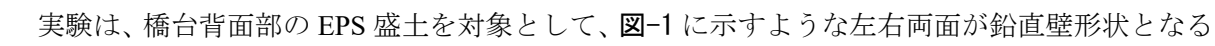
発砲スチロールを用いた土木工法（EPS 工法）の耐震性については、これまでも種々の研究が行われてきており、その耐震性の高さが確認されている<sup>1)2)3)4)</sup>。しかしながら、我が国では近年、2011年東北地方太平洋沖地震のような大震動の継続時間が長い地震や、2016年熊本地震のように巨大な地震動が連続して作用する、これまでに考えていなかったような地震が発生しており、EPS 工法のさらなる耐震性向上が求められる。このような背景のもと、EPS 開発機構では EPS ブロック間の従来の緊結金具を改良した新型金具を開発し<sup>5)</sup>、これを用いた実大振動台実験を実施した<sup>6)</sup>。実験は、地震時に安定性に問題が生じやすい条件として、橋台背面などの道路横断方向で用いられる、両直型になる形状のものを対象とした。

一方、橋台背面の道路縦断方向について、道路橋示方書・同解説<sup>7)</sup>では EPS などの「通常の盛土構造でない構造を橋台背面アプローチ部で用いる場合には、(中略)実験等により検証して明らかにした橋台への作用等を設計で考慮する必要がある」ことが明記された。これは、藤原ら<sup>8)</sup>による動的遠心模型実験の結果で、EPS 盛土に適用される中間床版部分に大きな作用力が生じることから、中間床版が橋台に衝突することで橋台に影響を及ぼすという指摘に基づいている。これに対して筆者らは藤原らの実験による作用力は橋台の背面側に慣性力が向かう時のものであり、橋台前面側への慣性力作用時には大きな作用力(=土圧)は生じていないことを確認した<sup>9)</sup>。また、藤原らの実験に対するシミュレーション解析を行って、橋台背面への大きな作用時の慣性力の向きを確認し、さらに橋台に発生する曲げモーメントについては、背面からの作用力よりも慣性力の影響が大きい可能性があることなどを示した<sup>10)</sup>。

本報では、以上示した EPS 盛土道路横断方向を想定した両直型盛土による実大振動台実験と、橋台背面アプローチ部における中間床版と橋台の衝突挙動による影響について、これまでの EPS 開発機構の研究結果を示す。

2. 両直型 EPS 盛土の実大振動台実験<sup>6)</sup>

## (1) 実験条件

実験は、橋台背面部の EPS 盛土を対象として、に示すような左右両面が鉛直壁形状となる構造形状のものをを用いて実施した。EPS 盛土は軟弱地盤による側方流動防止を目的として、橋台背面部に用いることが多く、その橋軸直角方向の形状は両直型になる。このような構造形状のものは、EPS 盛土の特性であるトップヘビー構造の影響を受け、ロッキング現象が生じやすいと考えられる。盛土幅は 5m、奥行は 3m とし、EPS ブロックのみの高さは 3m (6 段積み)、6m (12 段積み)、8m (16 段積み) とした。実施工と同様に、EPS 高さ 3m 当り 1 箇所、厚さ 10cm の鉄筋コンクリート床版を設置した。また、モデル最上段は舗装を考慮して、厚さ 30cm のコンクリート床版を設置した。

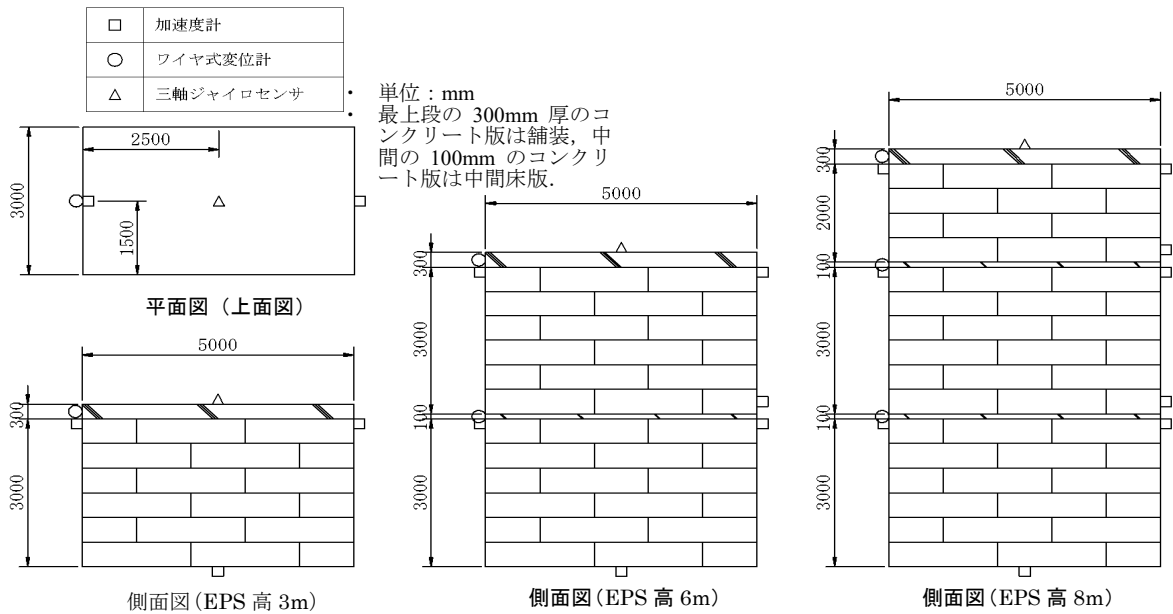


図-1 実験に用いた EPS 盛土の概要

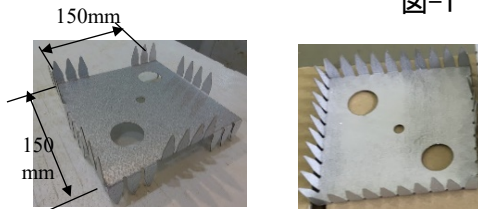


図-2 緊結金具 (新型金具)

図-1 では概略の断面形状を示した。図中には配置した計測機器についても示している。計測は、床版位置付近の加速度と変位、天端中央の回転加速度である。天端中央の回転加速度はジャイロ計により計測した。

EPS ブロック間は、図-2 に示す緊結金具で接合されている。緊結金具は新、旧 2 種類あり、図-2 に示すのは新型金具である。新型金具は、1995 年に開発された旧型金具に対して、接合力を強化して耐震性を向上させるために爪の数を増やしている。緊結金具は 1m<sup>2</sup> 当たり 2 個を標準としたが、EPS 高 3m のケースに対して比較のために 1m<sup>2</sup> 当たり 1 個の設置条件での実験も行った。

実験に用いた地震動は、ホワイトノイズ波、10Hz~1Hz まで段階的に周波数を変化させた sin 波及び図-3 に示す道路橋示方書・同解説 (V 耐震設計編) の設計地震動 (II-I-1) を用いた。

(2) 実験結果

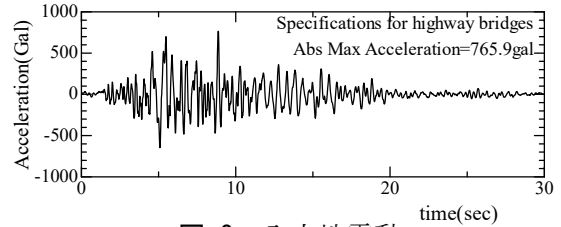


図-3 入力地震動

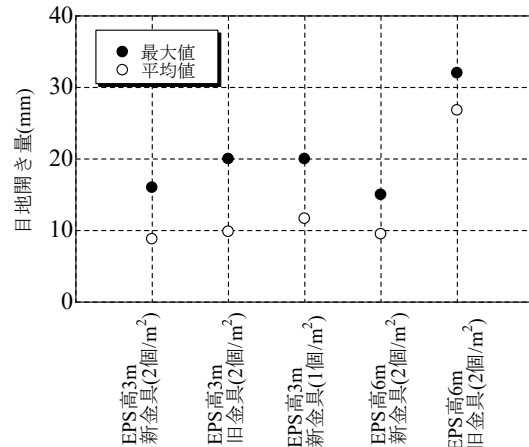
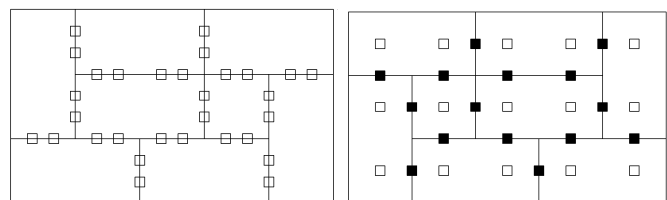


図-4 加振終了後の目地開き量



(a)従来配置 (b)ハイブリッド配置  
(□ : 両爪金具, ■ : 片爪金具)

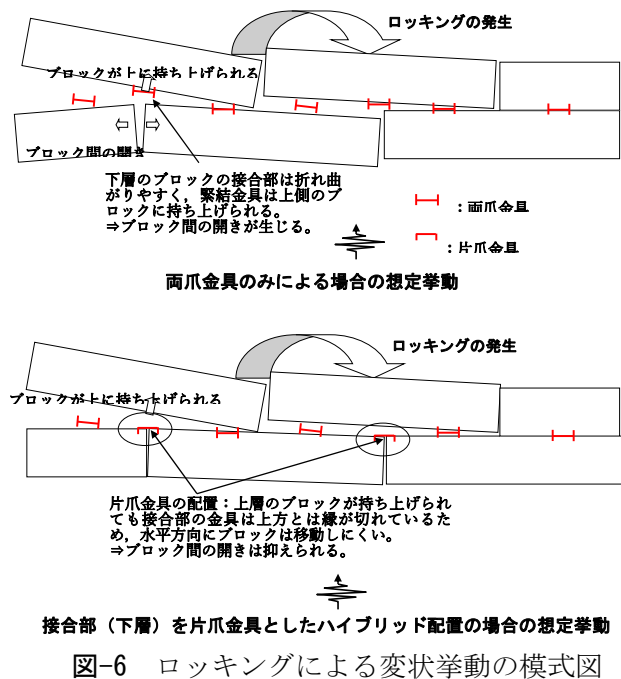
図-5 金具の配置条件

実験では、高さ 3m 及び 6m のケースに対して新旧の緊結金具の性能比較を行った。図-4 は、実験後の EPS ブロック間の目地開き量を比較したものである。この図では計測値の最大値と平均値を示した。この図より、新型金具の方が旧型金具より目地の開きは小さいことが明らかであり、新型金具の方が高い耐震性能を有していると言える。

ここで、従来の金具の配置では、図-5(a)に示すように緊結金具はブロック間に両爪金具を配置し、片爪金具は床版下のみに適用される（これを従来配置とする）。これに対して、図-5(b)に示すように片爪の金具を水平方向のブロック間に置き、両爪金具をブロック中に置くものをハイブリッド配置とする。高さ 8m のケースでは、このハイブリッド配置によるロッキング対策の有効性を確認するものとした。その原理は以下の通りである。

EPS 盛土に大きな地震力が作用するとロッキングによる鉛直動の影響で、EPS ブロックが上側に持ち上げられる。図-6 上に示すように、従来配置の条件ではこれによりブロック間に設置された金具が上側に持ち上げられ、下側の水平ブロック間の接合が外れる。このため、図-6 下に示す

ように水平方向のブロック間の接合を片爪金具にすることで、ロッキングによる抜け出しを防ぎ、水平ブロック間の接合を保つことができる。図-7 は加振終了後の状況を示したものである。手前側がハイブリッド配置で奥側が従来配置の条件である。加振時に 3m 毎に設置した床版上での EPS ブロックのすべり変状を確認したため、ハイブリッド配置の条件では床版の側方にずれ止めの鋼板を設置している。図-7 を見ると、奥側の従来配置ではブロック間のずれが確認されるが、手前側のものではほとんど変状は見られない。図-7 では従来配置条件における大きな変状（ブロック抜け出し）箇所の実験後の状況写真を示している。金具自体に大きな損傷はなく、EPS ブロックも爪あとは残すものの大きな破損は生じていない。これは、金具が持ち上げられて抜け出し、拘束のないままブロック自体が移動したことを示している。すなわち、先の図-6 上に示す挙動が生じたものである。実験に用いた地震動は、1995 年兵庫県南部地震の観測記録を周波数補正した大規模地震であるが、図-7 より従来配置であっても多少のずれは生じるが大きな変状には至っておらず、EPS 盛土の耐震性が確認された。



### (3) シミュレーション解析

以上の実験に対して、シミュレーション解析を実施した。解析は2次元の有限要素法によった。解析モデルのイメージ図を図-8に示す。解析では、EPS材と最上段のコンクリートブロックを平面ひずみ、中間にある厚さ100mmのコンクリート床版を梁要素とした。図-8の左下に示すように、EPSブロック間及びEPSブロックと床版間はジョイント要素を設置し、さらにEPSブロック間には1ブロック当り2箇所、緊結金具をモデル化したばね要素を設置した。図中にはばね値が示されているが、これは解析によるトライアルの結果より設定した値である。解析の境界条件は実験と同様底面固定であり、この固定底面より地震動を入射した。

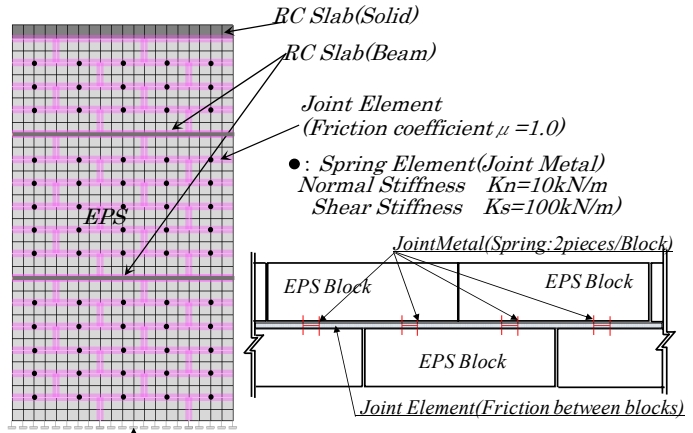


図-8 解析モデル

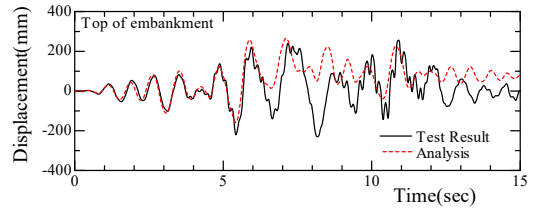


図-9 EPS 盛土天端の水平変位

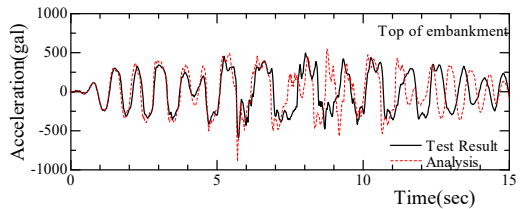


図-10 EPS 盛土天端の水平加速度

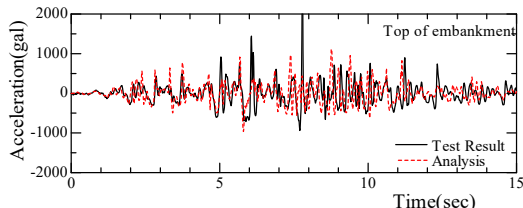


図-11 EPS 盛土天端の鉛直加速度

解析には、大変形解析プログラム FLIP/TULIP を用いた。解析の結果として、モデル天端位置（左端）での水平方向応答変位を実験結果と比較したものが図-9である。解析では大きな変位を受けた後の変位の残留挙動があるが、変位のピークや最大変位量はほぼ一致している。図-10は水平加速度を示したものである。実験と解析はほぼ一致している。同様に鉛直加速度を示したものが図-11である。実験による  $t=7.8\text{sec}$  付近の短周期のピーク以外はほぼ一致している。このように、解析により水平方向のみならずロッキングによる鉛直振動も表現できることがわかった。

### 3. 橋台背面アプローチ部における EPS 盛土の挙動に対する実験とその解析的評価

はじめに示したように、道路橋示方書・同解説にて「橋台への作用等」を実験等により検証することが示された。これは、藤原らの実験により EPS 盛土内に設置された中間床版位置で大きな作用が確認されたことによる。すなわち、図-12に示すように EPS 盛土の背面土からの作用が、EPS 盛土内に設置された中間床版を介して橋台に伝達されるという挙動が懸念されたために、その挙動を明らかにすることを求めたものである。ここでは、その記述理由としての藤原ら<sup>8)</sup>の実験の概要を示し、それに対するシミュレーション解析の結果より、実験での挙動評価を行った。

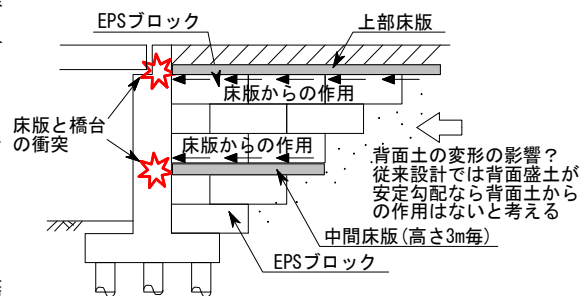


図-12 床版から橋台への作用のイメージ

(1) 藤原らの実験概要<sup>8)</sup>

藤原らによる既往の実験概要図を図-13に示す。スケールは実構造物に対して 1/50 が想定されている。実験は、図-13に示されるように、橋台背面に EPS 盛土を設置したもの(以下、背面 EPS とする)、普通盛土(江戸崎砂)を背面盛土としたもの(以下、背面土とする)及び、背面に盛土のないケースで実施されている。基礎地盤は砂質土及び粘性土を対象とし、さらに上部構造物の有無をパラメータとした。

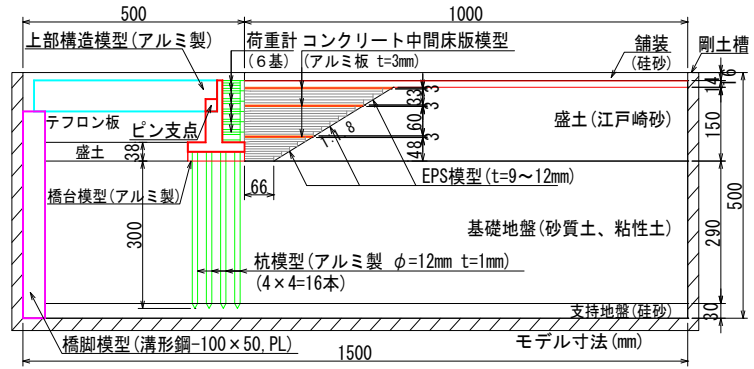


図-13 文献<sup>8)</sup>に示された実験概要図 (EPS 盛土のケース)

実験結果の例として、レベル 2 地震動加振時の橋台背面への水平土圧(作用力)の深度分布を示したものが図-14である。この結果は文献<sup>8)</sup>より読み取ったもので、荷重計の慣性力を控除した後、合力が最大となる時刻のものである。図-14の結果からは、中間床版位置の地震時土圧が非常に大きくなっており、背面 EPS のケースでは背面土のケースよりもむしろ大きい土圧が作用している。

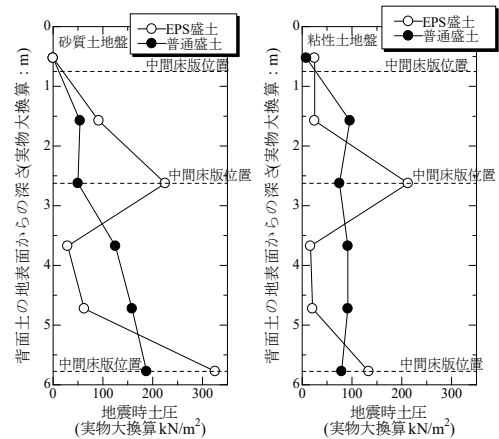


図-14 実験による地震時土圧 (文献<sup>8)</sup>よりトレース)

ここで、橋台天端加速度と中間床版の作用力(図-16に示す S2 の計測値)及び対象中間床版位置の増分土圧荷重(図-16の EP3 の計測値)の時刻歴で示した例を図-15に示す。図-15より土圧荷重及び中間床版の発生軸力のピーク時の加速度はプラス側であることがわかる。また、土圧荷重と中間床版に作用する力はほぼ同程度であり、土圧の作用が中間床版によるものであることがわかる。土圧と加速度の正負の定義は、橋台に対して図-16に示す通りである。慣性力は加速度に対して逆向きに作用するため、加速度がプラス(橋台前面側)の時は、慣性力は橋台背面側に向かって作用する。図-15より、大きな土圧が作用する時刻での加速度の向きはプラス側であるため、慣性力が橋台背面側に向かう時に大きな土圧が作用していることになる。

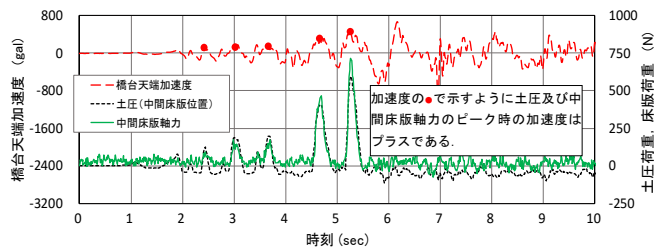


図-15 橋台天端加速度と地震時土圧荷重及び床版作用力の時刻歴 (背面 EPS 盛土, 基礎地盤粘性土)

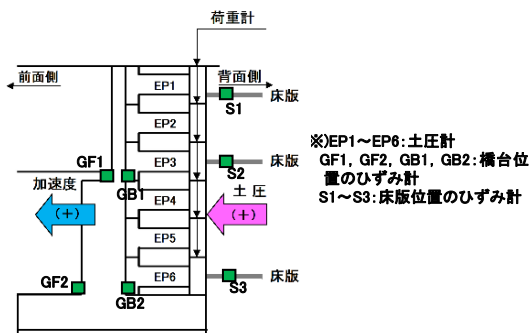


図-16 加速度と土圧の向きと計測位置<sup>8)</sup>

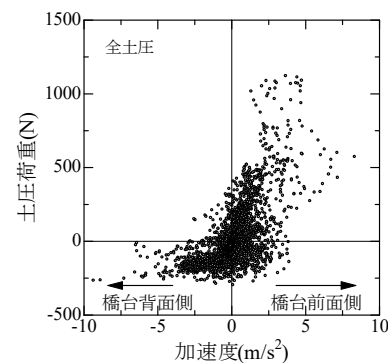


図-17 橋台天端加速度と土圧荷重(全土圧)の関係(背面 EPS 盛土, 基礎地盤粘性土)



図-17はこの傾向をよりわかりやすくするために、橋台天端の加速度と全土圧計に作用する合計土圧荷重(土圧荷重)の関係を示したものである。加速度がプラス側の時に土圧荷重が大きくなる傾向がある。したがって、大きな土圧が作用するのは、背面側の慣性力の作用により橋台が背面地盤にもたれようとしている時である。一般的に、橋台に作用する土圧は主働土圧を考慮する。この土圧は通常慣性力が橋台前面側に向かう時に作用するものであるため、実験での最大土圧の挙動は通常的设计で考える土圧に対して逆向きとなる。橋台基部前面側のひずみ(GF-2)と橋台天端の加速度を重ねて示したものが図-18である。ここでは基礎地盤が粘性土で上部構造がある条件での結果を示している。

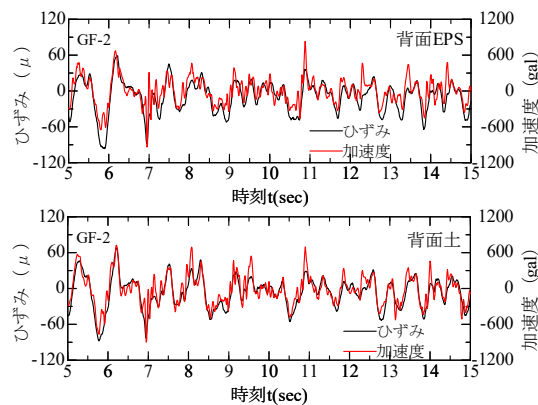


図-18 橋台天端の加速度と橋台基部のひずみ(ひずみ計測位置は図-16 参照)

図-18より、背面 EPS、背面土のケースともに、ひずみと橋台天端加速度の波形形状はほぼ同一である。このことから、橋台への作用は慣性力によるものが大きいといえる。つまり、実験の結果では、橋台への主働土圧による大きな作用はなく、慣性力による作用が大きかったのである。

## (2) シミュレーション解析

### a) 解析条件

以上の実験に対するシミュレーション解析を行った。遠心模型実験は、土槽内に設置された地盤モデルを対象としており、模型の奥行き方向は土槽の前後の壁部材で拘束される。遠心模型実験での模型の奥行き幅は 150mm と狭く、土槽と地盤間の摩擦は無視できないものと考えられる。このことから、ここでは土槽まで考慮した遠心模型実験と同一サイズの三次元 FEM モデルを構築した。解析モデル図を図-19 に示す。図-19 では、橋台背面盛土として EPS を適用したモデル図を示している。解析は、橋台背面盛土が EPS(背面 EPS)及び通常の土盛土(背面土)のケースで実施した。

遠心模型実験モデルは奥行き方向に対して中心軸から対称となるため、1/2 モデルを適用した。すなわち、図-19 において加振方向は橋軸方向であるから、土槽全体(内空幅 150mm)に対して橋

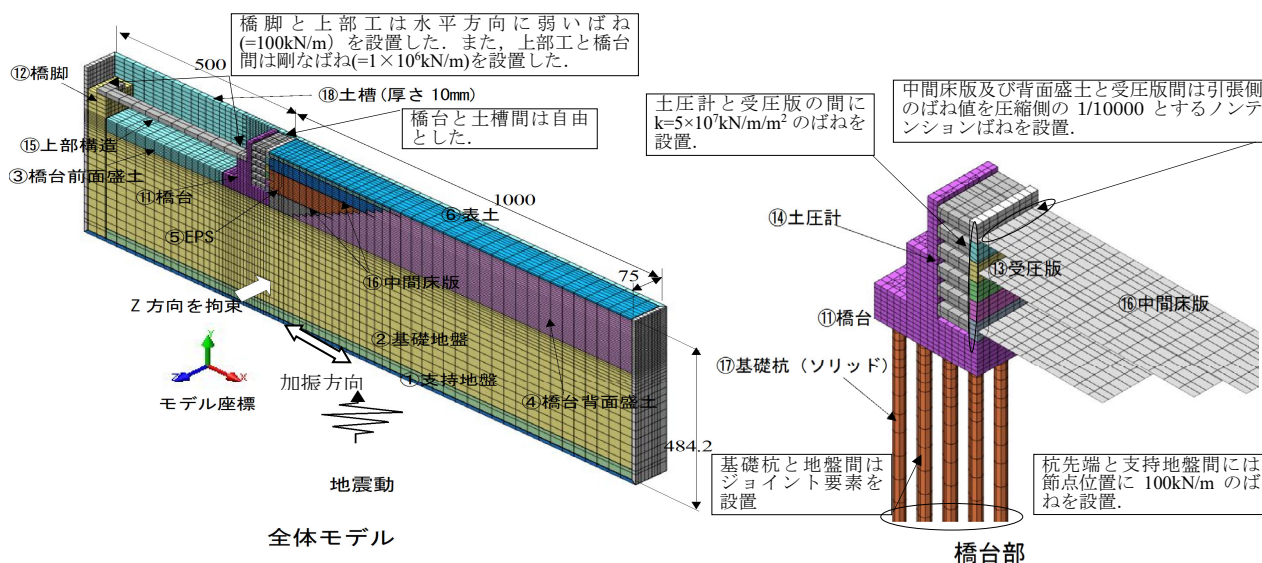


図-19 解析モデル(単位 mm)

軸直角方向にモデルを 1/2 し、そのモデルのカット面を奥行き(Z)方向に拘束することで 1/2 モデルとした。地盤(EPS 含む)、橋台(土圧計、受圧版含む)、橋脚、上部構造、土槽は立体ソリッド要素とし、床版は板要素とした。基礎杭は立体ソリッド(8 角柱)とした。EPS は線形弾性体とし、EPS を除く地盤材料は R-O モデルにより非線形性を考慮した。解析の境界条件は底面固定とし、実験で計測された入力地震動を固定面に与えた。地盤及び橋台は土槽内に設置し、土槽と地盤、橋台フーチングと地盤、EPS と床版、基礎杭と地盤間はジョイント要素を設置してすべり一剥離が生じるモデルとした(橋台と土槽間は自由)。上部工と橋台間はばね値  $k=1.0 \times 10^6 \text{kN/m}$  のばねで接合し、可動支承部の上部工と橋脚はその 1/10000 の弱いばねを設置した。橋台堅壁(図-19 に示す受圧版)と背面(EPS あるいは土)間及び床版と受圧版間は、圧縮側に強く引張側に弱い、いわゆるノンテンションばねを設置し、引張方向に土圧が作用しないようなモデル化とした。その他の設定条件及び地盤等物性値の設定は文献 10)を参照されたい。なお、遠心模型実験は基礎地盤を砂質土及び粘性土の条件で実施されているが、EPS 盛土の場合は軟弱地盤上の盛土に用いられることが多いため、ここでは基礎地盤が粘性土の条件を対象とした。

### b) 解析結果

解析の結果として、作用土圧(土圧荷重を土圧計の設置面積で除したもの)の深度分布を図-20 に示す。ここでは背面の EPS のケースについて、先の図-14 で示した遠心模型実験の結果と比較した。作用土圧は橋台背面の全土圧が最大になる時刻の結果である。浅い位置のものを除き実験結果と解析結果はほぼ一致している。図-21 は橋台天端の加速度と土圧荷重の関係を

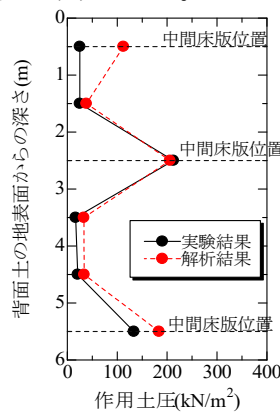


図-20 土圧の深度分布 (背面 EPS 盛土)

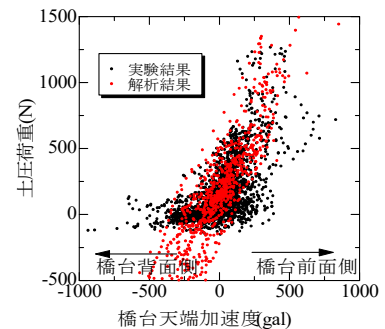


図-21 土圧荷重と橋台天端加速度の関係 (背面 EPS 盛土)

したものである。実験結果と解析結果はほぼ同様の傾向を示し、加速度が橋台前面側方向の時、すなわち慣性力が橋台背面に向かう時に大きな土圧が作用することがわかる。この結果より、本解析の結果は実験結果を適切に表現できていると判断する。

表-1 は、橋台天端の加速度が背面側と前面側に最大時刻での水平応力図と、橋台の鉛直応力図を変形モードとともに重ねて示したものである。なお、前面側の加速度は後述の通り、床版との衝突によるごく短周期の大きな値が生じており、ここではこれを除く最大値発生時刻の結果を示している。表中には橋台への背面からの作用力も示したが、これは橋台(受圧版)と背面盛土(床版含む)とを接合するばね反力の合計値を表している。接合ばねは先に示したように、圧縮側に強く引張側に弱いばねであり、変位によって反力が算出されるが、引張側への作用は橋台に影響しないと考えて良い。これらの図より、まず背面 EPS のケースで見ると、橋台加速度が背面側に大きい時刻では変位は前面側に向かっており、橋台背面部は EPS の背面の盛土を含めて水平応力がかなり小さいことがわかる。橋台と EPS の間には開きが生じており、また、EPS からの作用力は引張力であるから、実際には背面からの作用はない。一方、前面側に加速度が大きい時刻では、橋台は背面側に変位しており、EPS の内部応力は小さいものの、EPS とその背面の土盛土の境界部で応力が増加している。この応力の増加により、背面からは圧縮力が作用する。EPS の内部応力が小さいのは中間床版の影響であり、中間床版に応力が集中することで EPS に圧縮ひずみが作用

表-1 橋台に作用する水平応力と橋台の鉛直応力

背面盛土	時刻(sec)	水平応力(単位: kN/m <sup>2</sup> )	橋台鉛直応力(単位: kN/m <sup>2</sup> )	背面からの作用力
EPS	t=5.86sec (背面側に加速度大)	<p>変形倍率20倍</p> <p>橋台と背面 EPS 間の開き</p>	<p>変形倍率20倍</p> <p>中間床版と橋台は離れている。</p>	15.8N (引張)
EPS	t=5.48sec (前面側に加速度大)	<p>変形倍率20倍</p> <p>EPS と盛土境界の大きな応力の発生</p>	<p>変形倍率20倍</p> <p>中間床版の衝突による応力</p> <p>中間床版は橋台に衝突している。</p>	672.5N (圧縮)
土	t=5.85sec (背面側に加速度大)	<p>変形倍率20倍</p>	<p>変形倍率20倍</p>	0.1N (引張)
土	t=5.49sec (前面側に加速度大)	<p>変形倍率20倍</p>	<p>変形倍率20倍</p>	579.3N (圧縮)

しにくいためである。また、橋台に設置された荷重計位置の応力が床版の位置で大きくなっており、床版からの作用が明らかである。背面土のケースでも、橋台の加速度が背面側に最大の時刻では橋台は前面側に変位しており、背面盛土内の水平応力は小さい。加速度が前面側に最大の時刻では比較的大きな水平応力が発生し、橋台には圧縮力が作用する。実験の結果で、橋台の慣性力が背面側に向かう時に土圧は大きくなることを示したが、表-1 より背面側の慣性力の作用により、橋台が背面盛土に押しつけられることで大きな土圧が発生する傾向が確認できる。表-1 の橋台鉛直応力を見ると、背面 EPS のケースで加速度が背面側に大きいとき、橋台基部の鉛直応力は圧縮側にあり、背面側は引張である。中間床版は橋台から離れており、橋台への作用はない。前面側に加速度が大きい時刻では、橋台基部の応力は背面側へ加速度作用時よりも大きくなっているが、同様に橋台前面側に圧縮応力が作用している。中間床版は橋台に衝突しており、橋台パラペット部の応力が大きくなっていることから、中間床版が橋台に作用力を与えていることがわかる。橋台基部の前面側圧縮応力は、この作用により生じるものである。背面土のケースで見ると、橋台変位が前面側最大の時刻では、背面 EPS のケースと同様、橋台前面側が圧縮、背面側が引張である。背面からの作用はほぼ 0 であるため、これは慣性力によって生じているものと考えられる。また、変位が背面側最大時刻では、背面 EPS とは逆に橋台前面側に引張応力が発生している。これは慣性力により橋台が背面盛土に押しつけられることで生じるもので、背面 EPS の条件のように床版からの反力がないために発生する挙動である。

表-1 の橋台の鉛直応力図で背面 EPS のケースと背面土のケースで比較すると、橋台基部では後



者の方が応力値は大きくなっている。この応力値より橋台基部の曲げモーメントを算出し、その時刻歴を示したものが図-22である。ここでは、背面 EPS、背面土に加えて、背面に盛土がない条件での結果も示している。曲げモーメントは背面盛土なしの条件が明らかに大きい。背面 EPS と背面土の結果を比較すると背面盛土のケースの方が曲げモーメントは大きい。先の図-18 で橋台への作用としては慣性力の影響が大きいことを示したが、図-22 から、背面盛土のないケースの曲げモーメントが大きいことや、土圧の増加が橋台背面側への慣性力作用時に生じることから、橋台への作用の影響は橋台自体及び上部工の慣性力によるものが大きく、背面盛土の存在がそれを緩衝し、慣性力に対する軽減効果を発揮している可能性がある。

以上より、実験の結果とその解析結果で見ると、中間床版による橋台への作用力の影響は大きくないように見える。しかしながら、中間床版の衝突による作用があることは明らかであり、条件によってはこれによる橋台への影響も懸念される。このため、中間床版への影響の軽減対策として、EPS 開発機構では中間床版の一部を EPS 材に置き換える工法を提案している<sup>11)</sup>。その効果の確認のために、図-23 に示すように橋台直近の床版を EPS 材に置き換えた条件での解析を行った。その結果として、橋台背面土圧の深度分布を示したものが図-24 である。図中の実験結果及び無対策時の結果と比較すると、床版位置での土圧が低減しており、全体に均された感じの分布になっていることがわかる。橋台の加速度が前面側に最大となるときの橋台の鉛直応力図を示したものが、図-25 である。先の表-1 に示した無対策時の同条件での橋台の鉛直応力と比較すると、無対策時はパラペット基部の前面側で  $1500\text{kN/m}^2$  以上の応力値であったから、半分以下に低減していることがわかる。また、橋台基部には目立った応力の増加はない。図-26 は橋台基部の曲げモーメントを無対策時と比較したものである。曲げモーメントは無対策時と比較して低減しており、対策工としての効果が確認できる。

以上の通り、地震時の橋台への作用について、実験結果とその解析結果に基づき、いくつかの知見が得られた。ただし、これは実験土槽内での挙動であり、実構造物の挙動を表現したもので

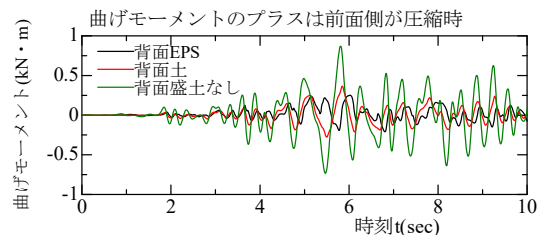


図-22 橋台基部の曲げモーメント比較

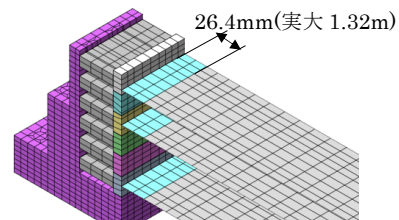


図-23 床版の EPS への置換え範囲

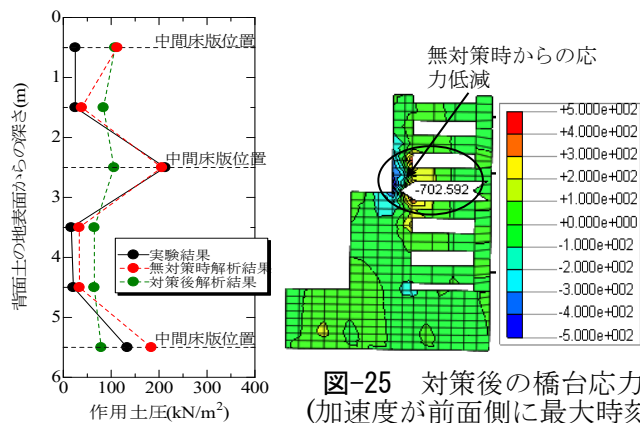


図-24 土圧の深度分布 (対策工の効果)

図-25 対策後の橋台応力 (加速度が前面側に最大時刻)

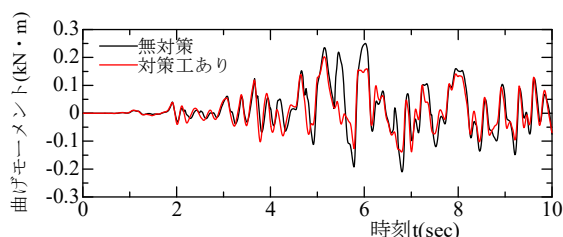


図-26 対策の有無による橋台基部の曲げモーメント比較

はない。実際に二次元解析<sup>9)</sup>では加速度が橋台背面側（慣性力が前面側）の時に土圧は大きくなるなど、今回の解析とは異なった挙動を示しており、条件によっては背面土圧の影響も無視できない可能性もある。EPS 開発機構としては、今後も実験や解析によりさらなる検討を行って行く予定である。

#### 4. あとがき

本報では、EPS 開発機構のこれまでの研究成果として、EPS 盛土の横断方向と橋台アプローチ部の地震時挙動について、実験及び解析による検討を行った結果を示した。横断方向の検討では、新型の EPS ブロック間接合金具の効果により EPS 盛土の耐震性が向上したこと、及び解析的な検討により EPS 盛土の地震時挙動評価が適切に行えることを示した。また、橋台背面アプローチ部についても、既往の実験の分析及びそのシミュレーション解析により、橋台背面の EPS 盛土の地震時挙動を評価できた。EPS 開発機構としては、今後ともさらなる検討により EPS 工法の信頼性向上を図っていきたい。

#### 参考文献

- 1) 田村重四郎：発泡スチロールブロックの集合体の動的特性について，基礎工，Vol.18, No.12, pp.26-30, 1990.
- 2) 田村重四郎，小長井一男，都井裕，芝野亘弘：発泡スチロールブロック集合体の動的安定性に関する基礎的研究（その1）－実験的研究－，東大生産研究，Vol.41, No.9, 1989.
- 3) 古賀泰之，古関潤一，島津多賀夫：EPS 盛土の耐震性に関する模型振動実験及び有限要素法解析，土木技術資料，Vol.33, No.8, 1991.
- 4) 西剛整，堀田光，黒田修一，長谷川忠弘，李軍，塚本英樹：EPS 盛土の実大振動実験（その1；振動台実験），第33回地盤工学研究発表会講演集，pp.2461-2462, 1998.
- 5) 西剛整，谷美宏，林夏希，小浪岳治，林豪人，古関潤一，京川裕之，安原一哉，窪田達郎，塚本英樹：緊結金具を用いた EPS 構造体の地震時挙動，ジオシンセティックス論文集 33 巻，pp.191-196, 2018.
- 6) 西剛整，谷美宏，林夏希，窪田達郎，京川裕之，古関潤一，小浪岳治：EPS 盛土の実大振動台実験による新型緊結金具の効果とロッキング対策の評価，ジオシンセティックス論文集 34 巻，pp.153-160.2019.
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（IV下部構造編，V耐震設計編），2017年3月.
- 8) 藤原慎八，篠原聖二，西田秀明，石田雅博：背面に EPS 盛土を有する橋台の地震時動的遠心模型実験，構造工学論文集 Vol.60A，pp.936-944，2014.
- 9) 西剛整，鳥居剛，林夏希，窪田達郎，京川裕之，古関潤一，小浪岳治：橋台背面 EPS 盛土に配置される床版による地震時作用土圧とその軽減対策，ジオシンセティックス論文集 36 巻，pp.81-88，2021.
- 10) 西剛整，鳥居剛，窪田達郎，京川裕之，古関潤一，小浪岳治：背面に EPS 盛土を有する橋台の動的遠心模型実験に対する検証解析，ジオシンセティックス論文集 37 巻，pp.77-84，2022.
- 11) 発泡スチロール土木工法開発機構：EDO-EPS 工法 設計・施工基準書（案），2019.

コーポレートメンバー

## 太陽工業株式会社

太陽工業(株)

国土事業本部 国土技術部 石田 正利

### 1. はじめに

弊社は東京ドームに代表される膜面構造物の開発、設計、製作および施工を主力事業としている会社です。

「膜」(メンブレン)という軽量で自在な材料の持つ無限の可能性を引き出し、お客様に感動と快適な環境をお届けしてまいりました。記憶に新しいところでは、FIFA ワールドカップカタール 2022 にて、日本対ドイツおよびスペイン戦が行われたハリファ国際スタジアムの屋根膜などの建築分野から、土木、物流、環境、防災分野まで弊社では幅広い製品を取り扱っております。

近年では、これまで多くの災害現場で用いられてきたエアテント(マク・クイックシェルター)を医療用仮施設として活用しており、特に新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)感染症の流行時には、PCR 検査や発熱外来所などとして感染拡大対策のため数多く設置されてきました。本稿では、医療用仮施設として用いるエアテントの特徴と医療現場にもたす安全性について紹介いたします。

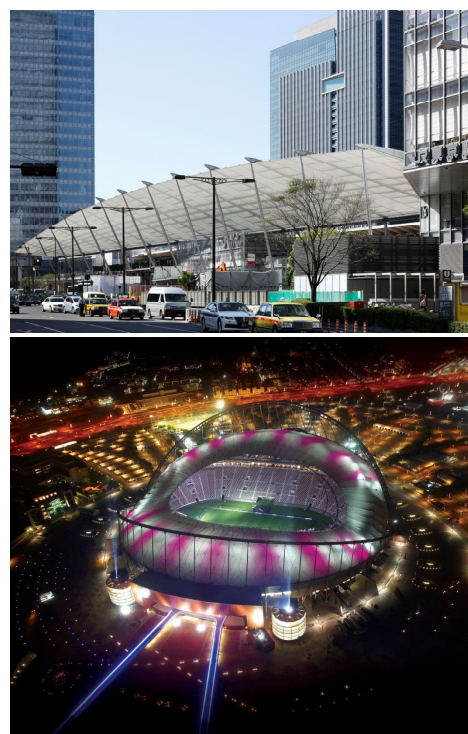


写真-1 膜面構造物

上：東京駅八重洲口 GRANROOF

下：ハリファ国際スタジアム(カタール)

### 2. 多用途エアテント「マク・クイックシェルター」<sup>1)</sup>

#### (1) マク・クイックシェルターとは

緊急時や災害時に使用されるマク・クイックシェルターは、1995年の「阪神・淡路大震災」、同年の「地下鉄サリン事件」をきっかけに注目を浴びました。これは、救助活動に必要な室内空間を素早く設営でき、活動後も短時間でコンパクトに収納ができ、少人数で簡単に扱えるという特徴が消防、救急活動に適していたからです。

#### (2) 特徴と性能

##### ① 形状と構造

マク・クイックシェルターは、カマボコ状(半円柱)の形をしたエアテントです。アーチ方向のフレームは、空気で膨らましたエアビーム(内袋を入れた二重構造の気柱)で、長手方向をFRPロッドによって支えるハイブリッド構造です(写真-2)。



写真-2 マク・クイックシェルター

##### ② 作業性

間口4mのエアテントの場合、専用の電動送風機を用いれば、大人2名で、3分程度で立ち上げ

ることが可能で、その後は連続送風の必要はありません。収納時は、エアビームの充排気バルブを開放するとテントの屋根部分の形状が乱れる事なく真下に下がり、その後送風機による排気を行う事で、5分程度で簡単にきれいにたたむ事ができます。

### ③ 耐風圧性

マク・クイックシェルターは、屋外での使用を想定し、風速10m/sに耐えるよう設計しています。厳密な応力解析(図-1)により反力を計算し、必要な重し量を決めています。さらに、大型送風機による耐風圧性能確認試験も実施しております。

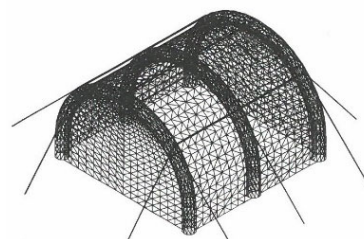


図-1 応力解析モデル

## 3. 医療用陰圧テント

医療分野では、2009年の重症急性呼吸器症候群(SARS)流行時、マク・クイックシェルターにHEPAフィルター(High Efficiency Particulate Air Filter)を組み込んだ「陰圧装置」を組み合わせ、「医療用陰圧エアテント」を開発いたしました。

「医療用陰圧エアテント」は、「前室テント」と「本体テント」から構成されています(図-2)。テント内で発生する飛沫感染の恐れがある空気を、HEPAフィルターを通して陰圧装置で吸い込みクリーンな空気に清浄化して外部に排出し、テント内は陰圧状態に保ちます。

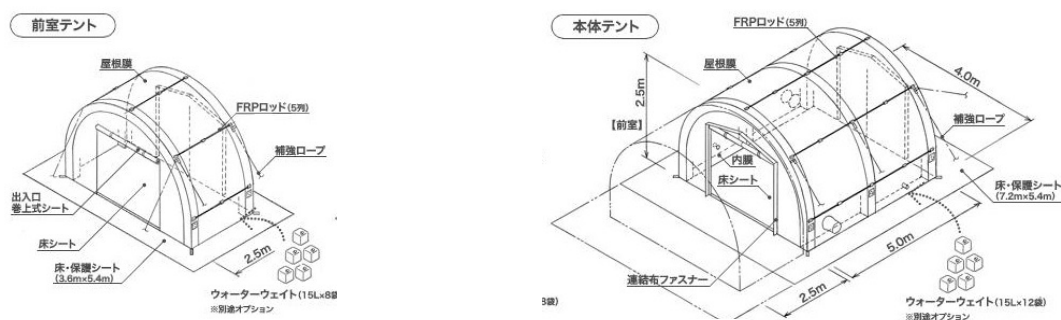


図-2 医療用陰圧エアテント

近年の新型コロナウイルスの感染拡大対策では、屋外に医療用陰圧テントを用いた発熱外来(写真-3)やPCR検査、ドライブスルー方式検査所が地方自治体や医療機関により設置され、一般病棟と隔離した診察を独自に実施する体制が整備されました。



写真-3 発熱外来センター設置(東京都)

## 4. おわりに

太陽工業は、膜構造のパイオニアであり、日本はもとより、世界で最も多くの実績を持つ膜構造のリーディングカンパニーです。これからも、人々の歓びと地球環境の未来のために挑戦を続けます。今後とも皆様方からのより一層のご指導をお願い申し上げます。

## 参考文献

- 1) 谷脇孝一: 新型コロナウイルス感染拡大防止のための医療用仮施設、BE 建築設備 2020年7月号、建築設備総合協会