

資料 マイクロバブル混入作業

1. MB 水生成方法

試験地盤への空気注入方法として、マイクロバブル（以下、MB）水による注水を利用した。MB 水は MB 発生装置により生成し、試験土槽内部に注水管を配管することにより試験地盤に MB 水を注入した。

マイクロバブル（以下 MB）は直径が 10～100 μm 程度の微細な気泡であり、気泡径が極小のため水中にしばらくの間滞在し、地盤中に浸透拡散しやすい性質をもつ。

MB 水生成には、(株)ニクニ製の加圧式マイクロバブルジェネレーター（以下 MBG）を用いた。MBG の写真を写真 1 に、性能を表 1 に示す。

装置は主に渦流タービンポンプと余剰エア分離タンクからなり、渦流タービンポンプにより水と気体を効果的に自給混合溶解・圧送を行い、余剰エア分離タンクでさらに圧力下で空気の溶解を高めた後、注水時にノズルやバルブなどにより加圧水の圧力を開放することにより MB を発生させるものである。なお、MB 水注水は第 1 回目試験後に行った MB 水注水実験の結果をふまえ、MB 水生成・配水の圧力を 0.6MPa、MBG への空気流入量を約 50l/min、地盤注入圧を約 0.15MPa、流速を約 500l/min (3.0 m³/h) とした。



写真 1 MBG (MB 水生成装置)

表 1 マイクロバブルジェネレーター (MBG) 性能表

装置名	加圧水流量(m ³ /h)	空気注入量	モーター動力
MBG32N37CE	約 3.0	流量の約 10%	3.7kW

* 尚、上記の値は周波数 50Hz での値。

2. MB 水注入方法

MB 水注入概要を図 1 に、主な配管材数量を表 2 に示す。また、写真 1 から写真 1 3 は MB 水配管および注水状況である。

概要図に示すように MB 水は水道水をノッチタンクに貯め、MBG により高濃度空気溶存水を生成及び送水し、分岐管により試験土槽下部に配管した 6 本の逆止弁付き配管により注水した。MB は逆止弁付き配管前の気泡発生用バルブ（ゲートバブル）で発生する仕組みとなっている。なお MB 同士が吸着することにより出来る管内に溜まった空気溜まりは対側のエア抜きバブルにより排除した。

配管材には MBG より排水される水圧が 0.6MPa と高く、振動実験時にせん断フレームの変形による土槽側面部管の破損を考慮し、送水側に内径 32mm の耐圧ホース、エア抜き側にも内径 25mm の耐圧ホースを使用した。

一方、MB 水注入に使用した逆止弁付き配管を写真 2 に示す。逆止弁付き配管は内径 30mm の塩ビ管にゴム式の逆止弁が付いたものであり、注水圧がかかることにより逆止弁が開き地盤内に MB 水を注入できるものである。

また、耐圧ホース、逆止弁配管ともに MB の発生を確認できるように透明のものを使用した。

配置は地盤内に均等に MB 水が注水できるように考慮し、逆止弁管 1 本当たり約 1m ピッチで 3 箇所逆止弁を設け、土槽底部に 1.6m ピッチで合計 6 配管（逆止弁注入箇所計 18 箇所）から MB 水を注水した。

さらに MB 水注入時、注入圧により混入箇所周りの砂地盤を乱してしまう恐れがあることから、写真 5 のように逆止弁周囲に礫を敷設し養生を行った。

地盤設置前の配管作業時に気泡発生用バルブによる MB の発生設定を行った。MB の発生は透明逆止弁管、注水時の水張り試験によりを行うことにより確認出来た（写真 4～7 参照）。

なお、配管設定時の MBG 吐出圧は 0.44MPa、流量約 63ℓ/min、逆止弁管内圧力（注入圧）約 0.075MPa、空気流入量約 5ℓ/min であった。

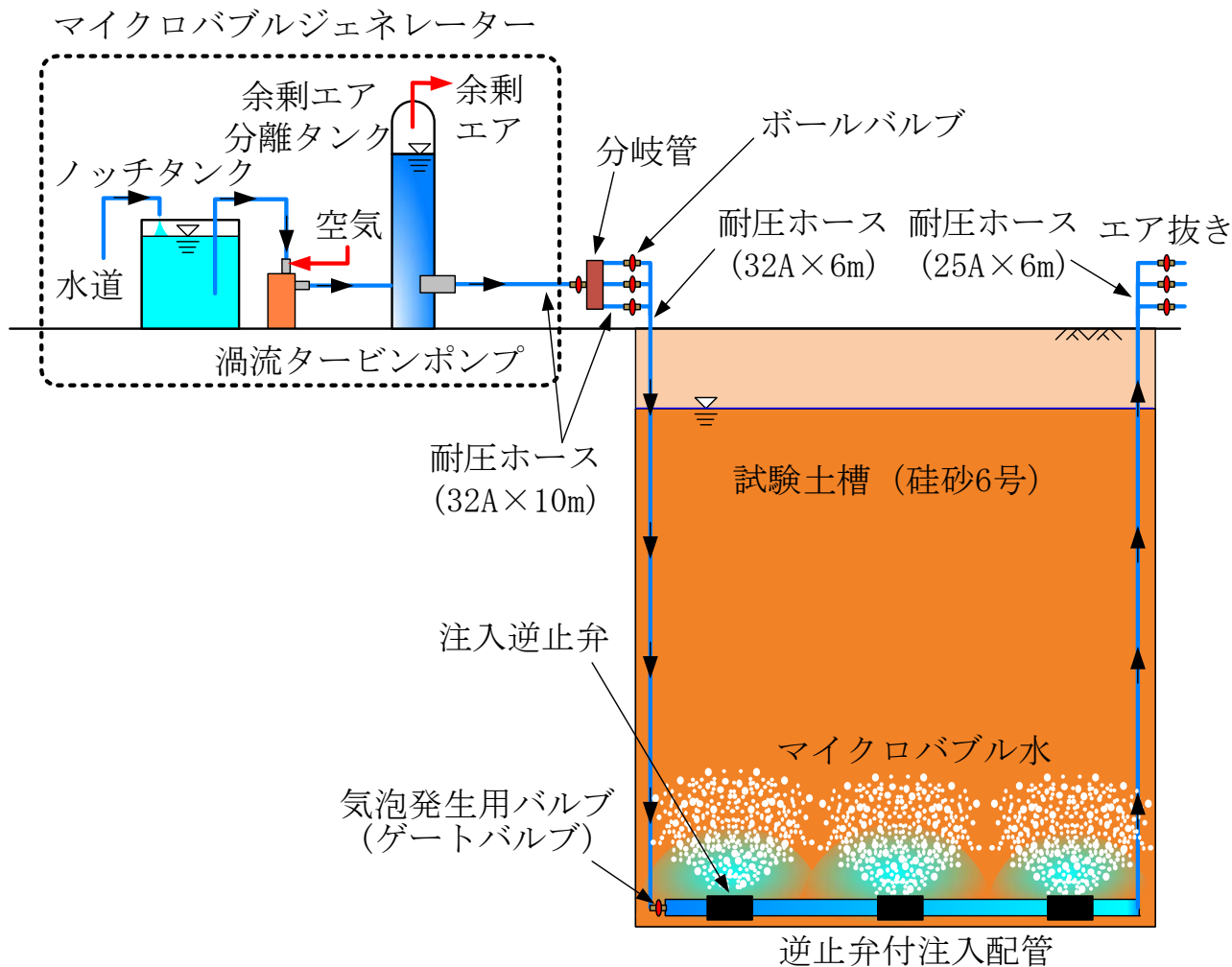


図1 MB水注入概要図

表2 主な配管材料

品名	仕様	単位	数量
逆止弁付配管(逆止弁3個付)	VP30×3.3M(透明)	本	4
逆止弁付配管(逆止弁3個付)	VP30×3.3M	本	2
耐圧ホース(両端金具付)	2MPa×32A×6M	本	6
耐圧ホース(両端金具付)	2MPa×32A×10M	本	7
耐圧ホース(両端金具付)	4MPa×25A×6M	本	6
分配管	32A 6分岐	本	1
気泡発生用バルブ(ゲートバルブ)	32A	個	6
ボールバルブ	32A	個	6
ボールバルブ	25A	個	6



写真2 逆止弁管配管



写真3 逆止弁管拡大（逆止弁状況）



写真4 逆止弁配管・バルブ設定状況



写真5 逆止弁周り養生状況



写真6 MB 水吐出状況



写真7 MB 水注水状況



写真8 気泡発生用バルブ



写真9 MB水生成状況



写真10 MB水注水分岐管



写真11 MB水注水配管



写真12 MB水注水縦配管



写真13 MB水エア抜き縦配管

3. MB 水注入計測

計測項目を表3に示す。計測はMBGによるMB水注水圧、注水量、地盤内のMB水吐出時の逆止弁配管内圧力、逆止弁吐出水圧およびの飽和度、水位を計測した。

飽和度は3種類の土壌水分計ADR, ADR-ECO, TDRと比抵抗電気探査（地表面及び地盤内に設置した電極によるモニタリング手法と比抵抗電気コーンによるモニタリング手法）を行った。

なお、TDR, 比抵抗電気探査計測は独立行政法人産業技術総合研究所の協力のもとで行った。

また、MB水混入時の地盤間隙中の気泡の状態を観察する目的で、土槽内にアクリルパイプを設置し、ボアホールカメラによる撮影を行った（別報告書参照）。

表3 計測内容および計測項目

計測内容		計測項目	数量	目的
MB水注入圧		圧力計	1	MB水生成及び注水圧力を確認をする。
MB水注水流量		超音波流量計 バネ式流量計	1 1	MB水の注水量を確認する。
MB水配管内圧力		水圧計	6	MB水の逆止配管内の圧力を確認する（逆止弁管6本）。
MB水逆止弁吐出圧力		水圧計	5	地盤内のMB水吐出時の圧力を確認する。
飽和度	土壌水分計	ADR ADR-ECO TDR（産総研）	1(4深度) 1(3深度) 2箇所	MB水混入前、混入時、混入後、加振後の飽和度の変化を確認する。
	比抵抗 (産総研)	比抵抗電極	地表面1測線 地盤内2測線	
		比抵抗コーン	6箇所	
気泡の可視化		カメラ	1箇所	地盤内の気泡の状態を確認する。

4. 計測器設置状況

各計測器の配置状況を写真14から写真23に示す。



写真14 MB水注水圧力計



写真15 空気流入量計測計



写真16 超音波流量計



写真17 バネ式流量計



写真18 逆止弁吐出圧水圧計



写真19 ADR 土壌水分計



写真 2 0 ADR-ECO 土壌水分計



写真 2 1 比抵抗電気探査地盤内電極



写真 2 1 TDR 土壌水分計



写真 2 2 比抵抗コーン電気探査



写真 2 2 可視化用アクリルパイプ



写真 2 3 地盤内計測設置全景

5 MB 注水飽和度計測結果

飽和度計測は ADR 土壌水分計, ADR-ECO 土壌水分計, TDR および比抵抗電気探査で行った。

なお, TDR および比抵抗電気探査結果については, 独立行政法人産業総合技術研究所の協力の下行った旨, 神宮司委員の第 3 回検討会での報告を参照のこと。

飽和度 S_r は ADR および ADR-ECO 土壌水分計から求められた体積含水率 θ より, 次式により算出する。

$$\theta = \frac{V_w}{V} = \frac{e}{1+e} \cdot S_r \quad (1)$$

ここで, θ : 体積含水率(%), V_w : 水の体積(m^3), V : 土の体積(m^3), e : 間隙比, S_r : 地盤飽和度(%)とする。

なお, ADR 土壌水分計は深度 GL-0.8m, GL-1.8m, GL-2.8m, GL-3.8m に設置しており, ADR-ECO 土壌水分計は深度 GL-1.3m, GL-2.3m, GL-3.3m に設置を行った。

一方, 第 2 回目土槽作成完了時点での作成土槽地盤条件を下記に記す。

土槽体積 V =深さ 4.8m×幅 3.6m×長さ 10m=172.8 m^3 , $\rho_d = 1.474$, $e = 0.797$,

$\rho_s = 2.643g/cm^3$, $\rho_{dmax} = 1.698$, $\rho_{dmin} = 1.326$ より $D_r = 45.7\%$, $V_v = 76.4 m^3$ となる。

よって, 初期飽和度 S_r は測定した MB 水混入水量が 44.7 m^3 であり, 平均含水比 6.4%とすると作成時の水分量は 16.3 m^3 となり, これらより飽和度を求めると $S_r = 79.8\%$ となる。

第 2 回加振実験前 (11 月 17 日 16 時時点) での ADR および ADR-ECO 土壌水分計から求めた飽和度 S_r は以下になった。

○ADR 土壌水分計計測結果

GL-0.8m (土槽下部より 4 m) : 78.7%

GL-1.8m (土槽下部より 3 m) : 83.0%

GL-2.8m (土槽下部より 2 m) : 65.1%

GL-3.8m (土槽下部より 1 m) : 78.0%

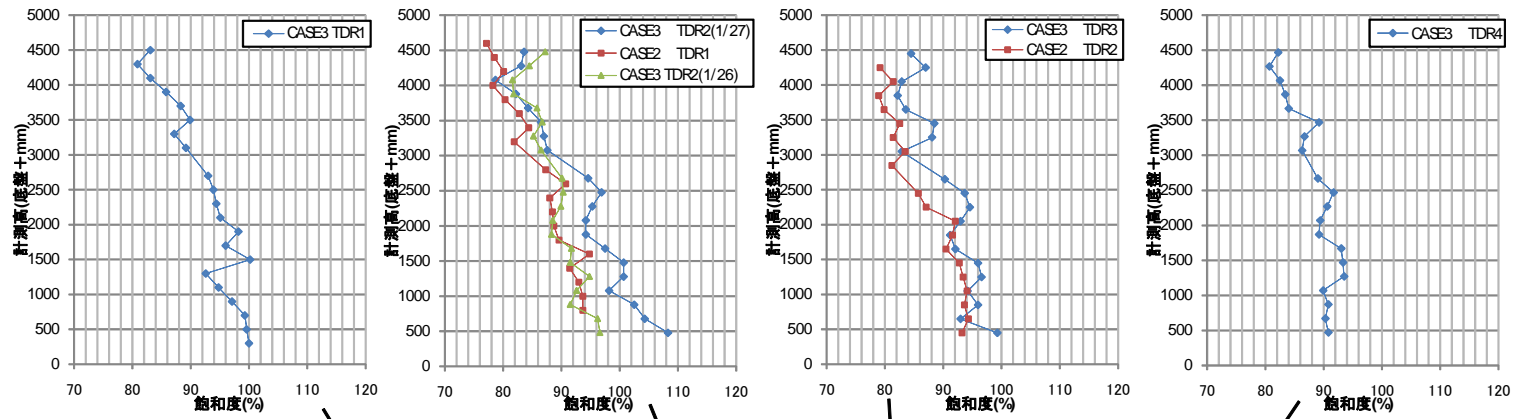
○ADR-ECO 土壌水分計計測結果

GL-1.3m (土槽下部より 3.5 m) : 87.7%

GL-2.3m (土槽下部より 2.5 m) : 95.2%

GL-3.3m (土槽下部より 1.5 m) : 88.9%

よって, 混入水量と土壌水分計の結果より, 第 2 回目 MB 水混入時の地盤の飽和度 S_r は 80%程度と考えられ, 当初注水目標としていた飽和度 80%に近い値となり, 所定の空気量は注水された。



土槽底盤+300mm以上のデータを記載した。ジョイント部のデータは削除している。

CASE3のデータについて Sweep加振 1/27である。測定日はSweep加振の前日のデータである。TDR2のみSweep加振日(1/27)のデータを併せて示す。

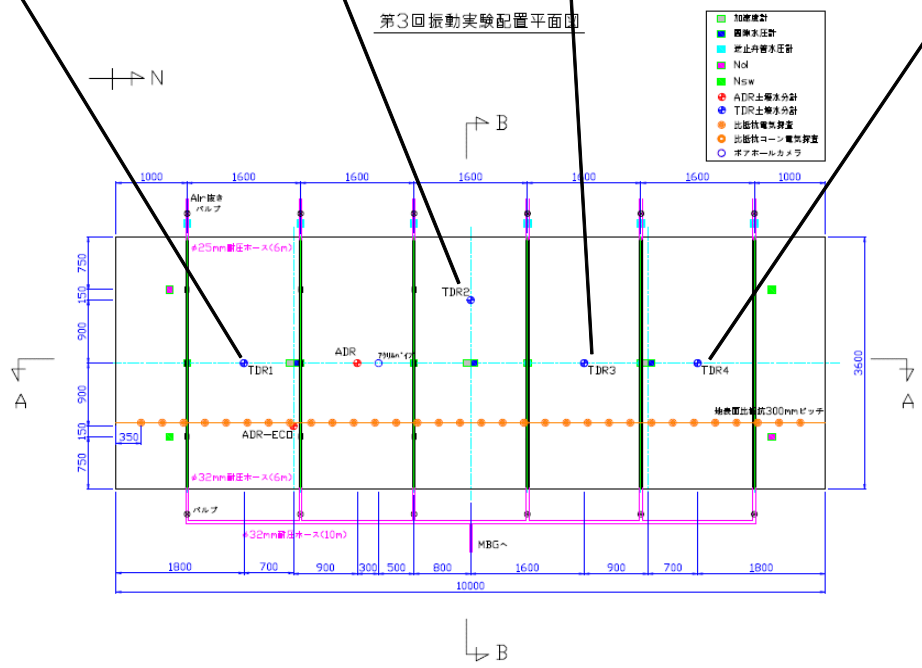


図2 DRによる飽和度結果(ケース2とケース3の比較)

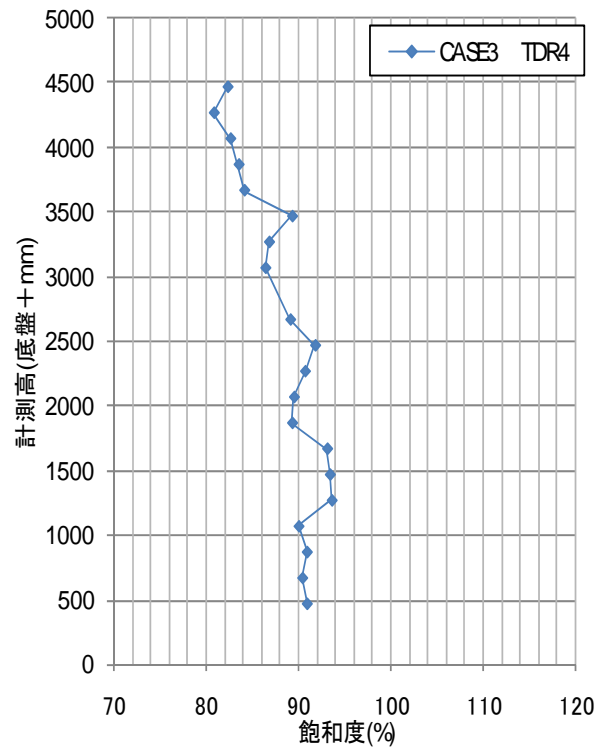
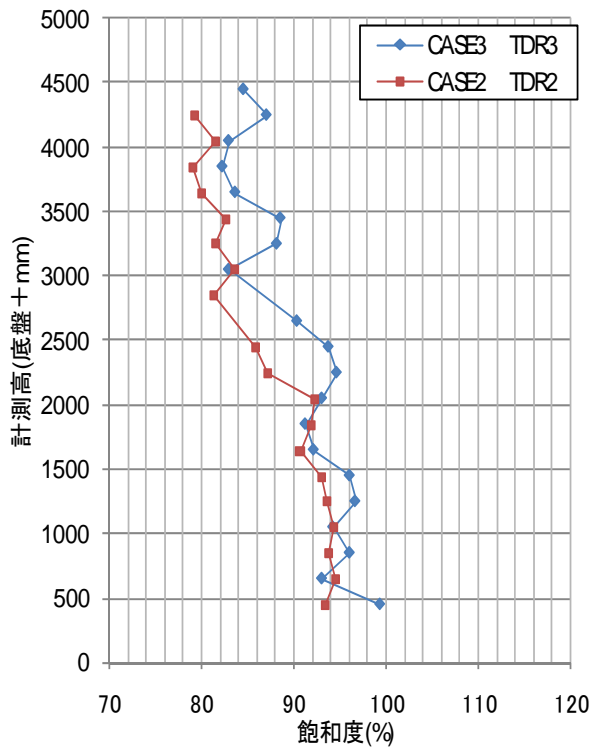
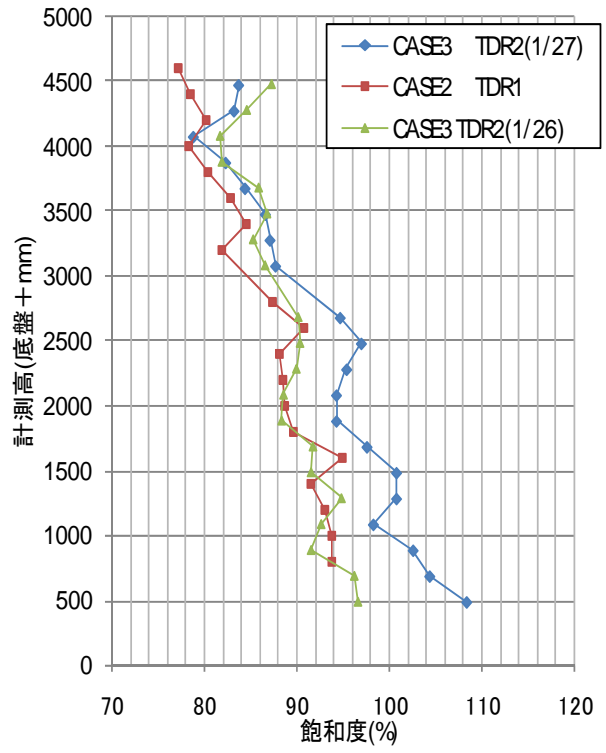
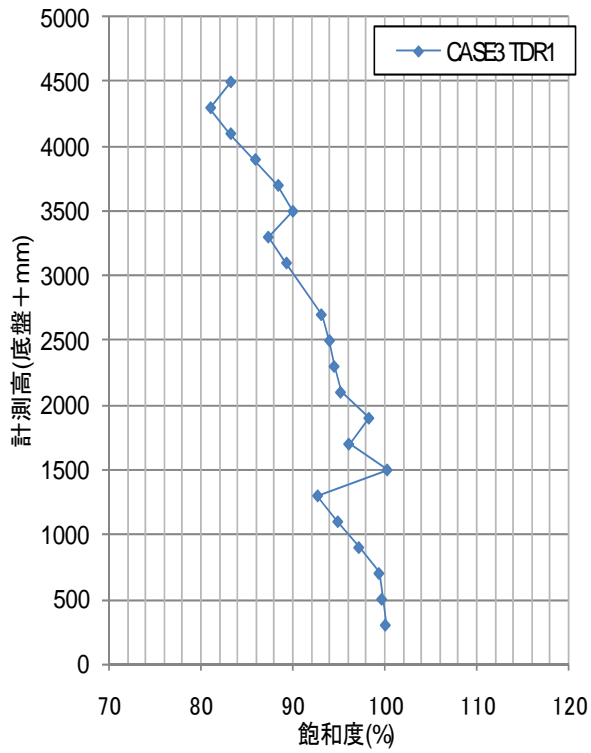


図3 DRによる飽和度結果(ケース2とケース3の比較)