

浦安市における各種動的サウンディング試験の比較(その5 : DPM-HT)

現場調査 動的コーン貫入試験 液状化

㈱北信ボーリング
 ㈱北信ボーリング
 東邦地下工機㈱
 積水ハウス㈱
 大阪市立大学大学院

○正 塩野 敏昭
 赤井 理一郎
 片山 浩明
 正 深井 公
 国 大島 昭彦

1. まえがき

従来から実用化されている小型動的コーン貫入試験装置(通称ミニラム、以下 MRS と呼ぶ)を基に、より可搬性と操作性を考慮した簡易小型動的コーン貫入試験装置(手動式ミニラム、以下、ISO の基準を参考に DPM-HT と呼ぶ)を開発した(資料-1 参照)。

DPM-HT は、MRS の貫入ロッドと先端コーンを使用し、ハンマーの重量や落下高さは同一であるが、MRS に比べると支柱に足場パイプを用いることから組み立て解体が簡便であり、打撃は油圧装置を省いて小型モーターと人力を動力としている。このように DPM-HT は可搬性や操作性、保守性に優れ、騒音も少ない特徴を有する(図-1)。

本論文では、浦安市における各種動的サウンディングの一斉試験の結果^{1), 2), 3)}を基に DPM-HT と MRS の換算 N 値の違いとその原因について考察し、考察を受けて改良を加えて装置の試験結果についても報告する。

2. 試験結果

試験地点の地質構成は、粘性土主体の埋立層が地点 1 で GL-8m、地点 2 で GL-6m、その下位には液状化したと考えられている沖積砂層が地点 1 で GL-17m、地点 2 で GL-15m まで堆積している

図-2 に地点 1 および地点 3 における DPM-HT および MRS の換算 N 値(Nd)と深度の関係を示す。同図には標準貫入試験(SPT)の N 値をあわせて示した。

図-2 から、地点 1 では、深度 GL-8m 付近まで DPM-HT と MRS の Nd 値はほぼ同様の値を示し、SPT の N 値も同様であるが、GL-8m 以深では DPM-HT の Nd 値が他の試験に比べて最大 2 倍程度の大きな値を示している。地点 3 においても同様の傾向が見られ、N 値が 10 程度以上の地盤に対して、DPM-HT と MRS の Nd 値が大きく異なることが確認された。なお、地点 3 の表層部は他の試験結果でも場所によって試験値にバラつきがみられ、人工地盤の性状の変化を反映したものと考えられる。

図-3 に DPM-HT および MRS の貫入ロッドの周面摩擦力(トルク)と深度の関係を示す。

地点 1 では、深度 GL-4m 付近まで DPM-HT と MRS のトルクはゼロを示すが、それ以深では DPM-HT のトルクが MRS を上回る傾向を示す。地点 3 においてもほぼ同様の傾向が見られる。両地点共に、Nd 値が 2 以下の粘性土を除いては DPM-HT のトルクが MRS を上回る傾向が確認された。

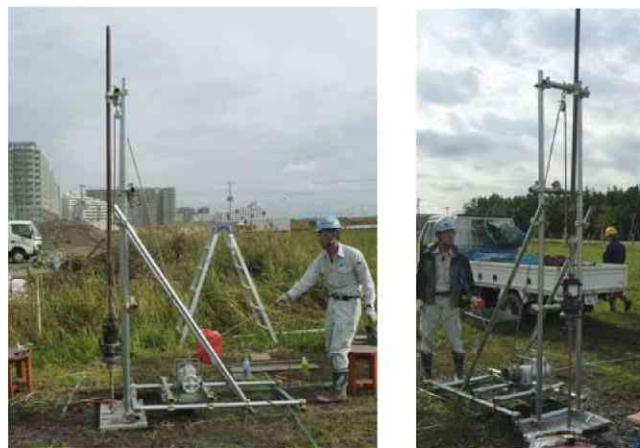


写真-1. DPM-HT の試験状況

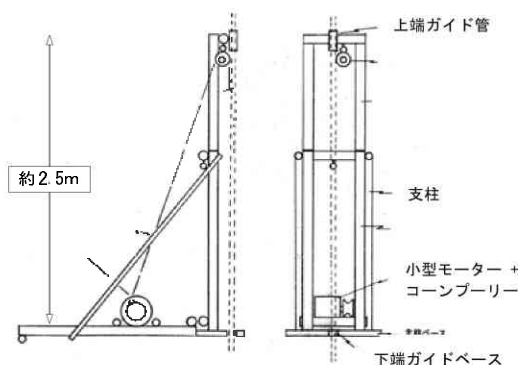


図-1. DPM-HT の構造

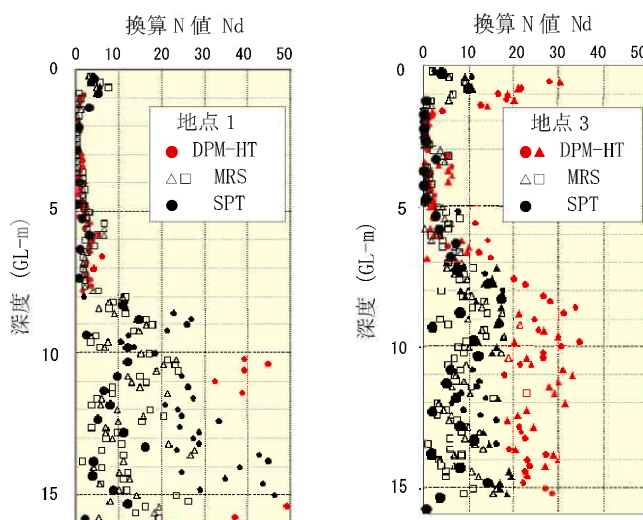


図-2. DPM-HT と MRS の換算 N 値および SPT の N 値の比較

Comparison of Various Dynamic Sounding Tests in Urayasu City(Part5:DPM-HT)

Shiono Toshiaki(Hokushin Boring), Akai Riitiro(Hokushin Boring), Katayama Hiroaki(Toho Drilling Equipment), Fukai Akira(Sekisui House, Ltd), Oshima Akihiko(Osaka City University)

なお、DPM-HT に限って見ると Nd 値とトルクの関係は良く対応しており、Nd が大きくなるに従ってトルクも増える傾向がある

3. 換算N値の違いに及ぼす要因の考察

DPM-HT と MRS の Nd 値の違い（打撃効率）に影響を及ぼす要因として、以下の4点が考えられる。①と②は打撃エネルギーの違いに着目したもの、③は支柱の構造に起因する貫入ロッドの曲がりの影響に着目したもの、④はアンビルの底部の孔に差し込まれたロッド頭部の“遊び”や摩擦に着目したものである。

- ①ハンマーとアンビルの形状
- ②ハンマーの落下方法
- ③支柱の構造
- ④貫入ロッド頭部の固定

①については、表-1 に示す様にハンマーの形状（長さ、外径）が異なる。両者の長さの比（DPM-HT/MRS）は約 0.84、外径は約 1.13 である。また、それぞれのハンマーの長さとお外径の比は DPM-HT 約 0.89、MRS 約 1.19 であり、DPM-HT が MRS に比べて太った形状である。図-4 に DPM-HT と MRS のハンマーとアンビルの形状の違いを誇張した概念図を示す。

宇都ら⁴⁾は、標準貫入試験においては、実用に供されている程度のハンマー（長さ／直径＝1～2）であれば、形状の相違がN値に及ぼす影響はほとんどないとした。

一方、藤田⁴⁾は、理論式をもとにハンマー径が JIS 規格より 20mm 小さい場合にはN値は 5%程度小さくなり、また、アンビル径が 10mm 大きい場合にはN値は 1%程度小さくなると算定している。

②について、DPM-HT は図-5 に示す様に標準貫入試験と同様の半自動落下方式を採用しており、一方、MRS は回転するチェーンがハンマーを持ち上げ、チェーンに等間隔にセットされた爪がハンマーキャッチャーの留め金を外す仕組みとなっている。いずれの方式も打撃効率に及ぼす人為的な影響は同程度で寡少と考えられる。

③について、DPM-HT の支柱はパイプ足場材で組み立ており、貫入ロッドの鉛直性は上端ガイド管と下端ガイドベースで確保している。一方、MRS は一本の支柱とハンマーを擁するバスケットが一体となって貫入ロッドの鉛直性を確保している。このような両者の支柱の構造の違いが、ガイドロッドや貫入ロッドの曲がりに影響を及ぼし、Nd 値やトルクの違いを生じた可能性が考えられる。ガイドロッドが傾いた場合に生じるハンマーの打撃効率の損失は 1° 傾斜した場合 10%程度と言われている⁵⁾。

ただし、ロッドが地表部分から曲がって貫入した場合には、アンビル底部にロッドを脱着する際、ロッドの頭部が底部の孔にスムーズに収まらない事態となる。今回の試験では、終始その様な状況は認められなかったことから、少なくとも地表部からロッドが曲がって貫入している事実はない。

④について、アンビルの底の孔に差し込まれた貫入ロッド頭部における打撃エネルギーの損失が考えられる。DPM-HT

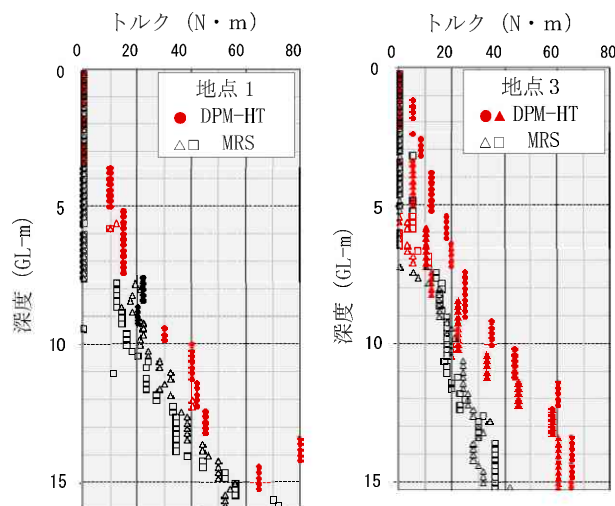


図-3. DPM-HT と MRS のトルクの比較

表-1. DPM-HT と MRS の仕様の比較

動的コーン貫入試験装置 Dynamic Probing Apparatus	DPM-HT	MRS
打撃装置 Driving device		
ハンマー質量 hammer mass	30.0±0.3	30.0±0.3
落下高さ height fall	350±10	350±10
ハンマー長さ	160	190
ハンマー外径	180	160
アンビル Anvil (ノッキングブロック)		
直径 diameter	75	90
質量 mass (ガイドロッド含む)	2.5	2.8
コーン 90° Cone		
公称断面積 nominal base area	10.52	10.52
底部直径 base diameter, new	36.6±2.0	36.6±2.0
マントル長さ mantle length	69±3.0	69±3.0
コーン先端長さ length of cone tip	16.3±3.0	16.3±3.0
ロッド		
質量 mass(max)	4.7	4.7
外径 diameter OD (max)	28	28

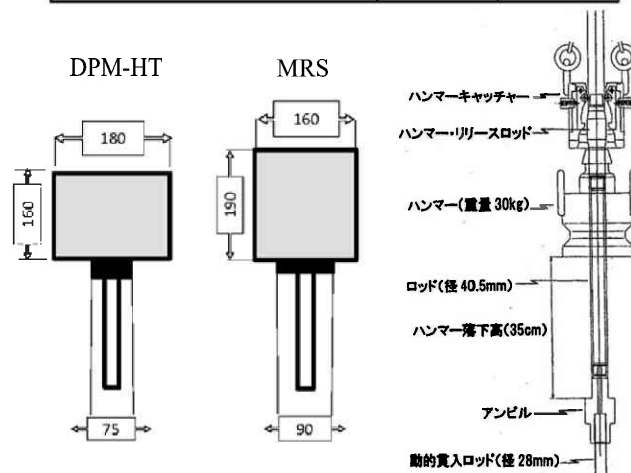


図-4. ハンマーとアンビルの比較 図-5. 打撃装置の詳細

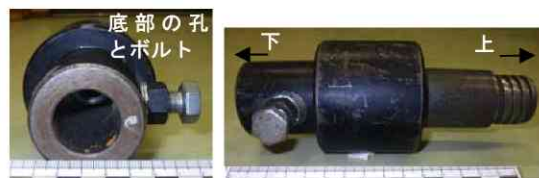


写真-2. DPM-HT のアンビル

はロッドの頭部を片側からボルトで固定しているが、衝撃によるボルトの緩みが避けられず、孔の内壁とロッドが干渉しあって打撃効率の減少につながる可能性がある。(写真-2)

4. DPM-HT の改良

DPM-HT と MRS の Nd 値の違い（打撃効率）に影響を及ぼす要因として、ハンマー形状やアンビル底部の構造などによるエネルギー効率やロッドの曲がりの影響など複数の要因が考えられたことから DPM-HT の改良を行った。

①ハンマー形状の改良

改良後のハンマー形状を表-2 および写真-3 に示す。改良後の長さ和外径の比は 1.51、DPM-HT と MRS の長さの比は約 1.18、外径は約 0.93 で DPM-HT が MRS に比べて細長い形状である。

②アンビルとロッド接続治具の改良

アンビル底部の孔の深さを 75mm から 115mm にすると共に、接続治具を介してロッドを隙間なく孔に装着することにより、貫入ロッド頭部の“遊び”や擦れ合うことによるエネルギー効率の減少を抑制する工夫をした（写真-4）。

5. DPM-HT の改良前後の試験結果

改良型 DPM-HT と従来型 DPM-HT の比較試験を行った結果を図-6 に示す。対象とした地質は、谷部を埋めた二次堆積の火山灰質シルトであり、含水比が高く粘性性を有する粘性土である。

図-6 から GL-8m 以深で改良型の Nd 値が従来型に比べて 2 程度小さく測定される傾向が見られる。また、トルクについては、GL-3～8m 間で改良型 DPM-HT が 10～20N・m 程度小さく、それ以深では 10N・m 程度大きく測定された。

図-7 の同深度における改良型と従来型の Nd 値の関係から両者の Nd 値の比は 0.92、相関係数は 0.80 で改良型が従来型に比べて 8% 小さい値を示している。

図-8 に同深度における N 値と Nd 値の関係を示す。N 値 10 以下の小さい範囲のデータではあるが、Nd/N は 0.5～1.5 の範囲でバラついている。

表-2. 改良型 DPM-HT と MRS の仕様の比較

動的コーン貫入試験装置 Dynamic Probing Apparatus	DPM-HT	MRS
打撃装置 Driving device		
ハンマー質量 hammer mass	30.0±0.3	30.0±0.3
落下高さ height fall	350±10	350±10
ハンマー長さ	223.5	190
ハンマー外径	148	160



写真-3. 改良前(左)と改良後(右)のハンマー

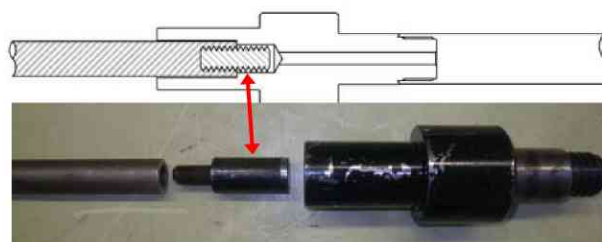


写真-4. 改良後のアンビルと接続治具

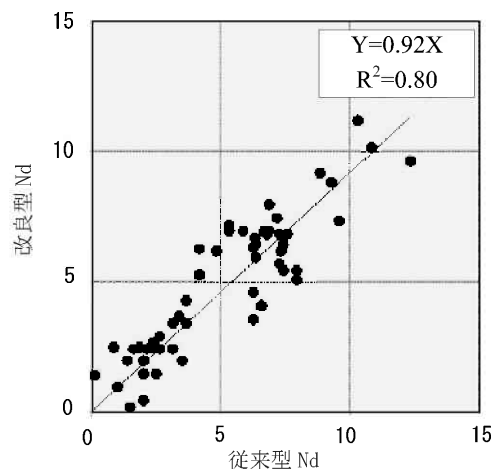


図-7. 従来型と改良型の Nd 値の比較

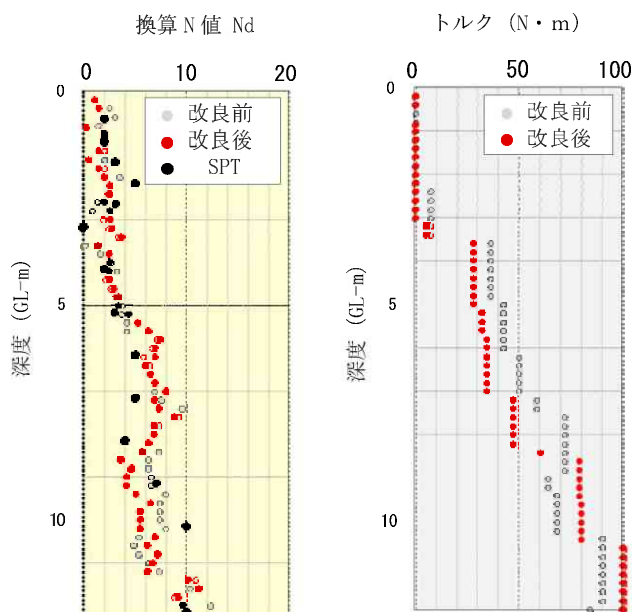


図-6. DPM-HT の改良前後の試験結果
(土質: 火山灰質シルト)

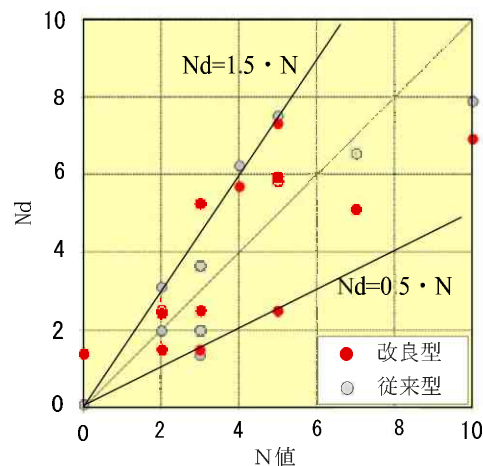


図-8. N 値と Nd 値の比較

6. 今後の課題

今後、さらに改良型 DPM-HT と従来型 DPM-HT の比較試験を行うことにより、さまざまな土質に対する適用性を検証して調査精度の向上を図り、経済性・簡便性を重視した液状化予測手法の開発のための基礎データを蓄積していく予定である。

最後に、今回は全深度にわたって Nd 値のトルク補正を行ったが、とくに深部においてロッドに大きな周面摩擦が発生することから Nd 値の精度に与えるトルクの影響を検討することが望まれる。

参考文献

- 1) 浦安市における各種動的サウンディング試験の比較(その1:調査概要), 第47回地盤工学会研究発表会, pp.131-132, 2012.
- 2) 浦安市における各種動的サウンディング試験の比較(その4:MRS), 第47回地盤工学会研究発表会, pp.137-138, 2012.
- 3) 浦安市における各種動的サウンディング試験の比較(その5:DCPT), 第47回地盤工学会研究発表会, pp.139-140, 2012.
- 4) 宇都、冬木: N値を考える 3.標準貫入試験の機構(その1), 土と基礎, 22-2, pp.81-87, 1974.
- 5) 藤田圭一: 品質管理された SPT とそのメカニズム、品質保証された N 値とその解釈, 基礎工, 31-2, pp.2-6, 2003.

資料-1

動的コーン貫入試験装置の寸法と質量(片山2012に一部加筆)

動的コーン貫入試験装置 Dynamic Probing Apparatus			ISO(国際規格) (ISO 22476-2:2005)					国内販売品				
	Symbol 記号	Unit 単位	DPL (light)	DPM (medium)	DPH (heavy)	DPSH (super heavy)		ミニラム OYO	オートラム (OYO)YBM	DPM-HT HB・TOHO	DSPT TGC・TOHO	DCPL TOHO
						DPSH-A	DPSH-B					
打撃装置 Driving device												
ハンマー質量 hammer mass	<i>m</i>	kg	10±0.1	30±0.3	50±0.3	63.5±0.5	63.5±0.5	30.0±0.3	63.5±0.5	30.0±0.3	10±0.1	10±0.1
落下高さ height fall	<i>h</i>	mm	500±10	500±10	500±10	500±10	750±20	350±10	500±10	350±10	500±10	500±10
ハンマー外径 : Dn								160	198	148		
アンビル Anvil(ノッキングブロック)												
直径 diameter	<i>d</i>	mm	50<d<Dn	50<d<Dn	50<d<0.5Dn	50<d<0.5Dn	50<d<0.5Dn	90	100・175	75	50	50
質量 mass (ガイドロッド含む)	<i>m</i>	kg	6	18	18	18	30	2.8	3.6・14	2.6		
コーン 90° Cone											スクリーンメント	
公称断面積 nominal base area	<i>A</i>	mm ²	10	15	15	16	20	10.52	15.9	10.52	5.76	10.52
底部直径(新品) base diameter, new	<i>D</i>	mm	35.7±0.3	43.7±0.3	43.7±0.3	45.0±0.3	50.5±0.5	36.6±2.0	45±2.0 45±1.4	36.6±2.0	33	36.6±2.0
底部直径(使用後) base diameter, worn(min)		mm	34	42	42	43	49	-	-	-		
マントル長さ mantle length	<i>L</i>	mm	35.7±1	43.7±1	43.7±1	90.0±2	51±2	69±3.0	90±2.0 90±1.6	69±3.0	200	69±3.0
コーン先端長さ length of cone tip		mm	17.9±0.1	21.9±0.1	21.9±0.1	22.5±0.1	25.3±0.4	16.3±3.0	22±2.0 22±1.2	16.3±3.0		16.3±3.0
最大先端摩耗量 tip max. permissible wear		mm	3	4	4	5	5	-	-	-		
ロッド												
質量 mass(max)		kg/m	3	6	6	6	8	4.7	6.3±0.4	4.7	2.4	2.4
外径 diameter OD (max)		mm	22	32	32	32	35	28	32±0.4	28	19±0.2	19±0.2
ロッド偏差 rod deviation												
最下部 5m lower most 5m		%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1 0.3	0.1		
それ以外 remainder		%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1 0.3	0.1		
1打撃当たりのコーン単位面積当たりの仕事 Specific work per blow	<i>En</i> <i>mgh/A</i>	kJ/m ²	50	100	167	194	238	97.9	195.8	97.8	50	50

Dn: ハンマー外径

HB: 北信ボーリング

TOHO: 東邦地下工機

TGC: 総合土質コンサルタント