

改良土の強度評価における山中式土壌硬度計の適用検討

山中式土壌硬度計 コーン指数 土質改良

(株)立花マテリアル ○正会員 瀬戸口祐人 正会員 久保 博
富田正文 長尾善彰

1. はじめに

建設工事に伴い副次的に発生する土砂や汚泥（建設発生土）は、国土交通省による「発生土基準について」¹⁾で、土質区分基準とそれぞれに応じた適用用途標準が提示されている。土質区分でもっとも重要な評価項目は、コーン指数(qc)である。qc200kN/m²未満の泥土およびqc200～400kN/m²の第4種建設発生土は、そのままでは埋め戻しや裏込めなどに利用するのが困難なため、利用可能性が高まる第3種(qc400～800kN/m²)以上に土質改良される場合が多い。本稿では、コーンペネトロメーターによるコーン試験の補助的、予備的位置づけとして、装置がハンディで簡便な山中式土壌硬度計の適用を検討したので報告する。

2. 山中式土壌硬度計

山中式土壌硬度計（以下、山中式硬度計という）は、農地の硬さ、ち密度を測定する装置として1960年代に日本で開発された。山中式硬度計は、表-1に示すように、小型軽量のハンディタイプで、バネ定数が一定のコイルばねを内蔵し、コーンにかかる荷重をバネの圧縮量で表示する。計測方法は、図-1に示すように、硬度計の接地板が土面に密着するまで硬度計を貫入するだけである。コーン部は、先端角12°40'、長さ40mmであるので、測定深さが最大40mmである。バネ圧縮量とコーン貫入量の計は、常に40mm（一定）である。例えば、軟弱な土でバネ圧縮量が5mmの場合、コーン貫入量は35mmである。逆に、高強度な土でバネ圧縮量が35mmの場合、コーン貫入量は5mmである。山中式硬度計は、貫入力と土の硬さによる反力が静的平衡にある時の力をバネ圧縮量(mm)で読み取る。コーン貫入断面積は、貫入深さに伴って変化する。山中式硬度計のコーン貫入応力は、下式によって計算できる。山中式硬度計の読み値(バネ圧縮量)L₁とコーン貫入応力 q_y の関係を図-2に示す。両者の関係は、指数関数の曲線に近似する。

表-1 山中式硬度計の仕様

直径 (mm)	約 32
長さ (mm)	約 220
質量 (g)	約 250
荷重測定方式	バネ方式
バネ長(mm)	120
バネ定数	1.96 N/mm*

*錘 8kg を載せた場合 40mm 縮む

$$A = ((40 - L_1) \times \phi \div L_0)^2 \times 3.14 \div 4 \quad \text{----- (式 1)}$$

A : コーン貫入部の断面積(mm²)

L₀ : コーン長さ(mm) ----- 40mm

φ : コーン上端直径(mm) ----- 18mm

L₁ : 山中式の読み値(mm) = バネ圧縮量

$$q_y = L_1 \times k \div A \times 1,000 \quad \text{----- (式 2)}$$

q_y : 山中式コーン貫入応力(kN/m²)

k : バネ定数(N/mm) ----- 1.96N/mm

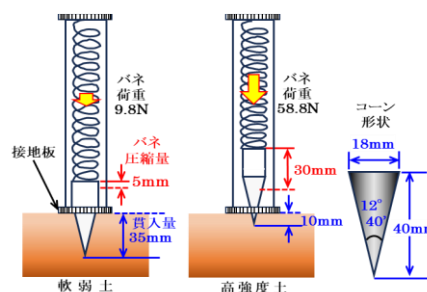


図-1 山中式硬度計の作動例とコーン形状

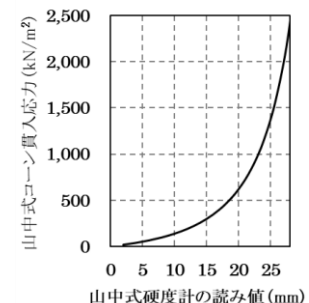


図-2 読み値と貫入応力の関係

3. 試料土と試験方法

供試土は、表-2に示すA～Dの4種類である。A～C土については含水比の影響も調査した。改良材は、A～C土に対しては吸水性高分子を含むタイプ、D土に対しては石膏を主体とする中性固化材を用いた。

改良材／土の添加量は、A～C

土については質量／質量比(%、

外割)とし、D土については質

量／体積(kg/m³、外割)とした。

土と改良材をホバート型ミキ

サーで混合し、混合直後に

JIS A 1228「締め固めた土の

コーン指数試験方法」に従っ

て、φ100mm×h127mmの鋼

製モールド内で締め固め(2.5kg

表-2 供試土の性状

	粒度分布(mm, %)			含水比 (%)
	< 0.005	0.005- 0.075	0.075- 4.75	
A土	7	42	51	44～75
B土	10	31	59	37～54
C土	10	34	56	33～49
D土	13		87	22



写真-1 コーン貫入
(qc)試験



写真-2 山中式硬度
計による試験

×25 回×3 層)を行い、コーン指数 q_c を測定した(写真-1)。コーン試験に先立ち、モールド内の試料土上面でコーン指数試験への影響が少ないと思われる位置で山中式硬度を測定した(写真-2)。なお、山中式硬度を測定した後に生じた小穴には、試料成型時の余剰土を指で詰めてからコーン(q_c)試験を実施した。山中式硬度を測定する際に試料土に亀裂が入る等の影響は見られなかったため、コーン指数試験への影響は小さかったと考える。

4. 結果と考察

4.1 A, B, C 改良土の強度特性と山中式硬度の評価

A, B, C 土の代表として B 土($w=49\%$)とその改良土について、モールド内深さごとのコーン指数曲線の例を図-3 に示す。コーン指数 q_c は、上面から約・50mm までは深さと共に顕著に増加し、-50～-100mm の範囲ではほぼ一定または漸増となった。 q_c (深さ・50, -75, -100mm の平均)は、原土では 152kN/m^2 で泥土(200kN/m^2 未満)に区分されたが、改良材の添加量とともに 30%添加では 634kN/m^2 まで増大し、第 3 種発生土に区分されるようになった。A, B, C 土についてそれぞれ含水比を変えて図-3 と同様の試験を多数行ったが、いずれも深さ・50～-100mm の q_c が比較的安定していた点では共通していた。

山中式硬度と・40mm における q_c との関係を図-4 に示す。ここで、・40mm の q_c を採用したのは、山中式硬度計の最大貫入深さが・40mm であることを考慮したことによる。両者の関係は、指数関数の曲線付近にプロットされ、高い相関を示した。また、各プロットは、前述の図-2 にも示した山中式硬度計の貫入深度～応力曲線の付近に分布した。

4.2 D 改良土の強度特性と山中式硬度の評価

D 土とその改良土について、深さごとの q_c の結果を図-5 に示す。原土の平均 q_c (・50, -75, -100mm)は、 180kN/m^2 で泥土に区分された。石膏系 100%の改良材を 60kg/m^3 添加することによって平均 q_c が 619kN/m^2 、石膏系 80%+助材 20%の改良材を 60kg/m^3 添加することによって平均 q_c が $1,022\text{kN/m}^2$ に増大し助材の有効性が認められた。一方で、図-5 において改良土の深さ方向の q_c の変化率が図-4 に比べてかなり大きいことが注目される。この原因として、D 土の細粒分が少なく砂主体であるため、改良土を突き固めた際に水分の一部が分離してモールド底部接合部から少量漏水するなど下部ほど強度増大し、かなり不均質な状態になったためと考えられる。このような傾向は、D 土を用いた他の試験ケースにおいても共通的にみられた。

山中式硬度と q_c (・40mm)の関係を図-6 に示す。A, B, C 土(図-4) に比べて、バラつきが大きくて、山中式の貫入応力の線からもずれる。このことは、D 土の特性、すなわち比較的高含水で軟弱な砂質土を比較的小量の改良材混合と突き固め処理によって改良した場合の強度特性を反映するものと考えられる。

5. まとめ

(1) 山中式硬度計による読み値(mm)は、強度のばらつきの少ない粘性土の改良土の場合、貫入応力(kN/m^2)に換算することによって、コーン指数に近似した値を把握する手段として有効と考える。

(2) 比較的高含水の軟弱な砂質土の改良土の場合、突固めによって改良土の強度のバラツキが大きくなることがあり、山中式硬度の読み値からコーン指数を推定することが困難になる。

【参考文献】

- 1) 独立行政法人 土木研究所編：建設発生土利用技術マニュアル 第 4 版，丸善出版(2013)
- 2) 山中，松尾：土壌硬度に関する研究(第 1 報)，土壌肥料学会誌，33, 7 (1962)

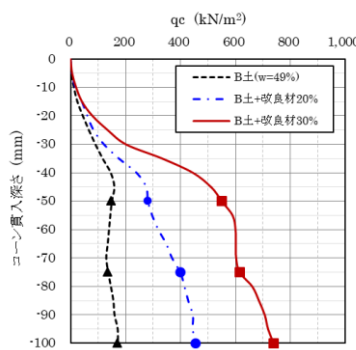


図-3 B 改良土の深さ～ q_c 曲線例

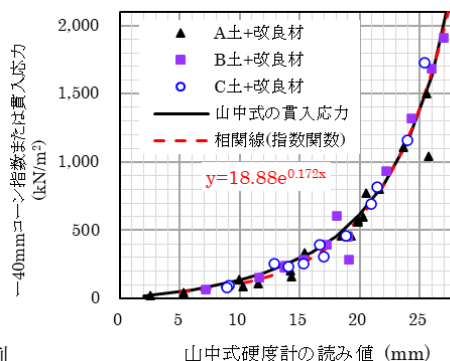


図-4 A, B, C 改良土の山中式硬度と q_c (・40mm)の関係

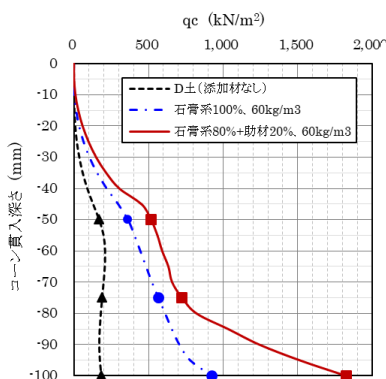


図-5 D 改良土の深さ～ q_c 曲線例

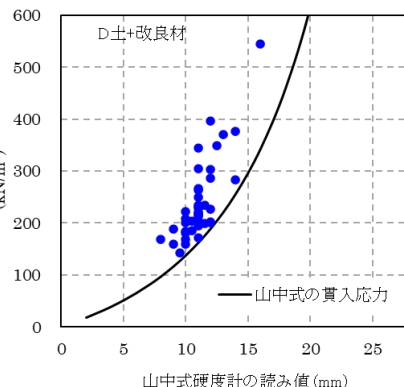


図-6 D 改良土の山中式硬度と q_c (・40mm)の関係