

III-54 硬質水砕の三軸試験による施工性の検討

兵庫県土木部
 広畑鉱業加工(株)
 ○ 広畑鉱業加工(株)
 神戸大学工学部

矢上元英
 平野昌一
 井奥哲夫
 軽部大蔵

1. まなびき：

硬質水砕とは、鉄鉄を製造する際に、鉄鉄量の約3割程度を副産物の高炉スラグを、高温熔融状態で高圧の水で急速に冷却して得る。このものは硬く、比重は2.6~2.8、粒分布は図-1に示すような砂状のものである。主な化学成分はCaO 40~45%、SiO₂ 30~35%、Al₂O₃ 14~15%、MgO 5~7%程度である。このものは潜在水硬性を持つが、石灰等を混合し、セメントペーストと5:2と、1~2ヶ月で固まっている。硬質水砕を軟弱路床の底断片に使用した場合、海砂と比較して施工時の作業性(トラッカビリティ)が非常によいと云われ、施工直後の固まりがよいとき、その性質を、三軸圧縮試験により力学的な面から比較調査した。

2. 試験方法とその結果：

三軸圧縮試験の各値をモデル化して図-2。
 供試体寸法は、硬質水砕、大槌荒砂 80×50 mm²
 豊浦標準砂 80×35 mm²

試料は予め完全乾状態(空気除去)に置き、
 試料の詰め方は緩詰めと密詰めとの両方を行った。
 緩詰めは水浸試料をモールドに流し込んで成型。
 密詰めは突棒で4層×30%の締め固めを行った。

三軸試験は排水状態(CD試料)のもとで、
 圧縮速度は0.5%/分、側圧を0.5, 0.75, 1%の3段階に変えて行った。
 また繰返し剪断特性を見極めるに繰返し圧縮試験も行った。
 たゞし繰返しは目安は体積ヒズミが初期圧縮の状態が膨脹状態に遷移する点とした。試験結果の数値は表-1.に示す。

3. 考察：

土の支持力は剪断抵抗力によるが、この剪断抵抗力はせん断定数をパラメータとして、次式で表わすことができる。

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad \text{----- ①}$$

硬質水砕に石灰分を添加して水硬反応を期待する場合も、
 ない場合は、施工中は水硬反応による粘着力は期待出来ない。
 粘着力cはゼロと仮定し、CD試験から得られたφであるので、

φで表わす。三軸圧縮試験結果とφの関係は②式、

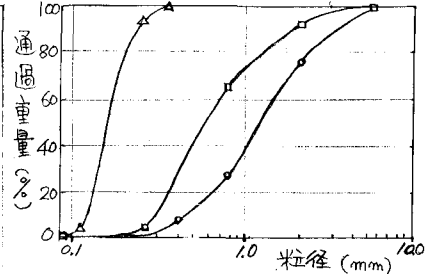
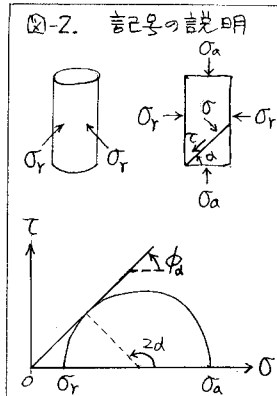
$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{q_f}{q_f + 2\sigma_r} \right) \quad \text{----- ②}$$

$$q_f = (\sigma_a - \sigma_r)_f : \text{主応力差の最大値。}$$

$$\sigma_a : \text{長軸方向応力。}$$

$$\sigma_r : \text{側圧。}$$

表-1.のφと側圧σ_rの関係を見ると、同じ試料でもφは形成バラツキがある。これは同じように作成した供試体でも側圧にバラツキがあるから、一般に側圧が高くなるとφが増える傾向がある。



○ 硬質水砕 (スパー・プラスサート)
 □ 大槌荒砂
 △ 豊浦標準砂
 図-1. 硬質水砕の粒分布

表-1. 試験結果表

試料	詰め	側圧 (kg/cm ²)	間隙比	φ _a (°)	M _d	d _{vr} %	M'	E ₅₀ (kg/cm ²)	備考
硬質水砕	密	0.50	0.196	0.773	45.31	1.863	-0.360	1.503	164
		0.75	0.698	0.678	44.88	1.845	-0.446	1.429	379
		1.00	0.817	0.808	0.844	1.771	-0.283	1.488	206
		0.73	0.840	0.812	0.838	45.40	1.867	1.506	785
	緩	0.50	0.935	0.885	0.887	42.09	1.726	1.568	78
		0.75	0.981	0.917	0.881	39.31	1.606	1.530	75
		1.00	1.041	0.945	0.853	40.43	1.655	1.626	64
		0.78	1.119	1.017	0.946	39.73	1.624	1.534	461
	大槌荒砂	0.75	1.081	0.992	0.922	39.63	1.620	1.561	472
		0.50	0.521	0.514	0.545	45.88	1.887	1.598	295
		0.75	0.536	0.523	0.548	47.71	1.964	1.599	435
		1.00	0.534	0.521	0.549	45.92	1.889	1.485	457
	豊浦標準砂	0.75	0.520	0.511	0.537	45.20	1.859	1.555	304
		0.75	0.521	0.512	0.540	45.36	1.865	1.594	1.271
		0.50	0.621	0.603	0.616	39.66	1.621	1.591	192
		0.78	0.655	0.631	0.646	40.37	1.652	1.446	300
	豊浦標準砂	1.00	0.627	0.606	0.620	39.78	1.627	1.408	278
		0.75	0.548	0.545	0.563	42.73	1.754	1.460	1.294
		0.50	0.691	0.677	0.721	42.25	1.733	1.525	380
		1.00	0.728	0.709	0.738	41.16	1.686	1.538	1.148
		3.00	0.657	0.636	0.666	40.47	1.656	1.443	1.213
		3.00	0.719	0.697	0.722	39.90	1.545	1.277	1.268
		5.00	0.662	0.619	0.632	38.06	1.552	1.263	1.263

e₀ : 成型時の間隙比

e₂ : 側圧の載荷した時の間隙比

e_f : 破壊時の間隙比

φ_a : 剪断抵抗角

d_{vr} : 体積圧縮ヒズミの増分

dε : 剪断ヒズミの増分

その他の記号は
 文中参照

たためる。供試体作成時の空隙比

e_0 の影響をみるために、側圧 σ_r 0.5~1.0 kg/cm² の試験について、 e_0 と剪断抵抗角 ϕ_d の関係も求めた。図-3.のようになる。 e_0 の増大と共に ϕ_d は低下するが、同じ空隙比で比較すると硬質水砕の ϕ_d は最も大きい。

また繰返し載荷によつて硬質水砕の ϕ_d は大きくなるが、大粒荒砂の ϕ_d は小さくなる。これは繰返し途中の除荷過程で硬質水砕は高密化をおこして差がでる。

更に剪断強度の成分は土粒子集団の

摩擦による成分と体積膨張に要する力(ダイラタancy成分)から成ると述べている。

剪断抵抗角 ϕ_d の代り、その関数 M_d をうきょうに定義する。

$$M_d = \frac{6 \sin \phi_d}{3 - \sin \phi_d} \quad \text{-----} \quad (3)$$

さらに M_d は次式で与えられる。

$$M_d = M' - \left(\frac{dv}{de} \right) \quad \text{-----} \quad (4)$$

ただし M' は土粒子集団による摩擦成分であり、剪断が等体積状態で進行する($\frac{dv}{de}=0$)場合の摩擦角 ϕ_{cv} を導入すれば、 $M' = \frac{6 \sin \phi_{cv}}{3 - \sin \phi_{cv}}$ ----- (5)

図-4.は M_d , ϕ_d と $(\frac{dv}{de})$ の関係を表わしている。この図で特徴的な事は、試料の詰りや繰返し条件にかかわらず、試料毎に M_d と $\frac{dv}{de}$ が相関係係を示すことである。この(3)式が成立する場合は、 $M_d \sim \frac{dv}{de}$ の関係は45°線上に乗らなければならないが、実数値の向きはやはり小さいようである。 $M_d \rightarrow \phi_d$ に変換した時の縦軸との交点は土粒子集団の摩擦角 ϕ_{cv} に等しくなる。図から明らかである、硬質水砕の摩擦角 ϕ_{cv} は他の材料に比べて可成り大きく、荒砂より約4°位大きいことが確認された。この事が一般の海砂に比べてトラフがリテグが良い事を表わしているようである。

変形係数 E_{50} と初期空隙比の関係(図省略)を見ると、硬質水砕は海砂に較べ、初期には圧縮し易い。繰返し載荷によつて、 E_{50} は可成り増大するよう思われる。

変形係数 E_{50} と初期空隙比の関係(図省略)を見ると、硬質水砕は海砂に較べ、初期には圧縮し易い。繰返し載荷によつて、 E_{50} は可成り増大するよう思われる。

5. 結論 :

- (1) 剪断抵抗角 ϕ_d は硬質水砕が最も大きい。これは初期空隙比が大きいからで、空隙比を小さくする方向、即ち現場に於ける転圧や締固めにより、海砂とは逆に剪断抵抗がが増える事がわかった。これは転圧、締固めが効果的に行なう事を示している。
- (2) 土粒子集団の内部摩擦角 ϕ_{cv} は硬質水砕が最も大きい。剪断抵抗角 ϕ_d に占める ϕ_{cv} の割合が高い材料は、大粒化と受けてその剪断強度が余り低下しない。これから硬質水砕は軟弱地盤の表層改良に適した材料と見られる。
- (3) 変形係数 E_{50} については硬質水砕は低い。これは現場に於いて圧縮し易い事を示しているが、 ϕ_d , ϕ_{cv} から繰返し転圧によって安定し、又材料自体に圧力増強剤を加えて硬質性を持たせれば(スパー・プラスチック)には硬質性が加わっている(水硬性あり)、路床や路盤に用いても可成り有効な材料として使えようと思われる。

以上の検討より硬質水砕が軟弱地盤の表層改良材及び施工土生(トラスクリティ)で用いられる事が判明したが、今後更に実際に於ける検討を進めて行きたいと思つてゐる。最後にこの調査に協力してくれた 神戸大学 建設研究室の皆様に、新田鐵・佐田・土建課の瀧田に感謝の意を表します。

以上、

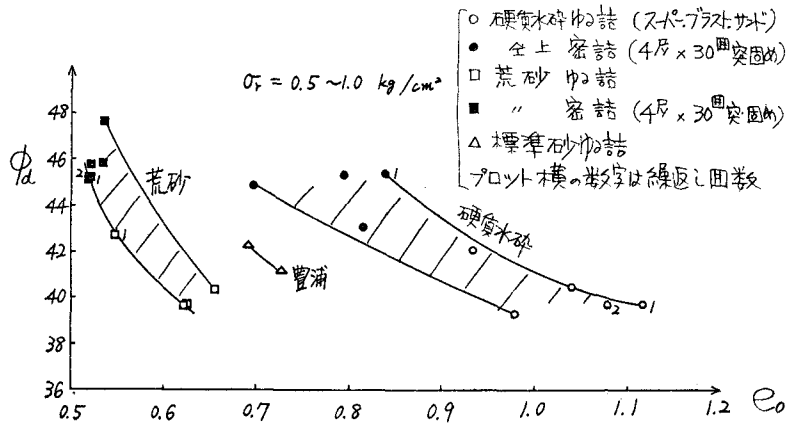


図-3. $\phi_d \sim e_0$

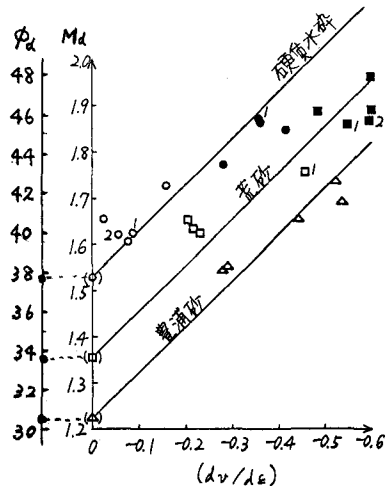


図-4. $\phi_d \sim (\frac{dv}{de})$