

鳥取県西部地震で発生した噴砂の三軸圧縮試験によるせん断特性

鳥取大学工学部（正） 清水正喜
株式会社森本組（正）○亀川 剛

1. はじめに

2000年鳥取県西部地震で地盤の液状化によって、港湾施設、埋め立て工業団地、干拓農地、干拓地堤防、および住宅地に被害が生じた。特に竹内工業団地では被害が大きく、そこで発生した噴砂は従来、液状化した例を見ないほどの細粒土であった。現在、竹内工業団地の噴砂の性質を解明することが課題となっている。本研究の目的は鳥取県西部地震の噴砂、特に竹内工業団地の噴砂の物理的性質と力学的性質を明らかにすることであり、そのために物理試験と三軸圧縮試験をCUおよびCDの条件で行った。

2. 噴砂の物理的性質

表-1に著者らが採取した噴砂の土粒子密度と最大・最小間隙比を示す。土粒子の密度については特筆すべきことはない。最小間隙比は豊浦砂を除いては、どの試料も0.7から0.8程度までと特に差はないが、最大間隙比はTAK（竹内工業団地の噴砂）とTAK2の値が他の試料より際立って大きい。表中、TAK2はTAKから20μm以下の細粒分を出来る限り取り除いたものである。粒径加積曲線を図-1に示す。図-1から、TAKとTAK2は平均粒径が0.03~0.05mm程度のシルトであるが、それ以外は平均粒径が0.1~0.3mm程度の粒径の揃った砂であることが分かる。日本港湾協会の粒径加積曲線はその範囲に入るものは液状化を起こしやすいと判断されるものであり、TAKのみがこの範囲外にある。

3. TAKの三軸圧縮試験結果

図-2にCU試験から求めた豊浦砂とTAKの $\phi' - Dr$ 関係を示す。 ϕ' は応力比が最大るときから決定した。 $Dr \approx 50 \sim 75\%$ において、TAKのほうが豊浦砂よりせん断抵抗角 ϕ' が小さいことが分かる。図-3、4に緩づめ供試体（試料 $Dr=57\%$ ）のCU試験の結果の一例（ $\sigma_c=98kPa$ ）を示す。主応力差はTAKが豊浦砂よりも小さく、剛性もTAKのほうが小さいことが分かる。せん断初期の過剰間隙水圧の増加量は、TAKが豊浦砂より倍ほど大きく、減少量は、TAKが豊浦砂より小さい。この減少量の違いが主応力差の増加の仕方に影響していると考えられる。図-4は応力経路を示すが、図中の矢印の点は、応力比が最大になったときを示している。せん断初期の段階でTAKは豊浦砂より破壊線に近づく動きをしていることが分かる。

図-5に豊浦砂とTAKのCD試験から求めた $\phi_d - Dr$ 関係を示す。 $Dr \approx 50 \sim 75\%$ において、TAKのほうが豊浦砂よりせん断抵抗角 ϕ_d が小さいことが分かる。図-6に緩づめ供試体

表-1 試料の土粒子密度と最大・最小間隙比

採取地	試料名	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}	$e_{max} - e_{min}$
竹内工業団地	TAK	2.665	1.484	0.750	0.734
(同上)	TAK2	2.665	1.511	0.802	0.709
崎津工業団地	SAK	2.675	1.194	0.740	0.454
弓ヶ浜干拓地	YUM	2.650	1.137	0.750	0.387
彦名干拓地	HIK-1	2.719	1.099	0.705	0.394
(同上)	HIK-2	2.709	1.175	0.754	0.421
豊浦砂		2.646	0.972	0.605	0.367

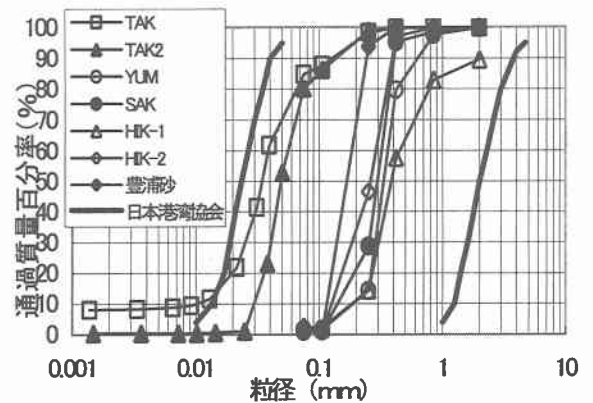


図-1 試料の粒径加積曲線

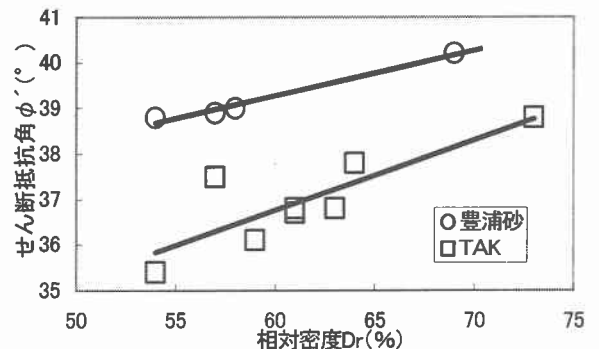


図-2 豊浦砂とTAKの $\phi' - Dr$ 関係

(TAK, $D_r=59\%$ 豊浦砂, $D_r=62\%$) の CD 試験の結果の一例 ($\sigma_c=98\text{kPa}$) を示す。最大主応力差は TAK が豊浦砂よりも小さく、剛性も TAK のほうが小さいことが分かる。体積ひずみの圧縮傾向は TAK が豊浦砂よりも大きく、膨張傾向は、TAK が小さいことが分かる。

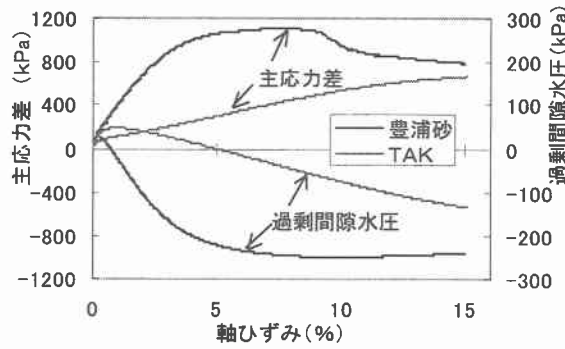


図-3 主応力差、過剰間隙水圧－軸ひずみ関係

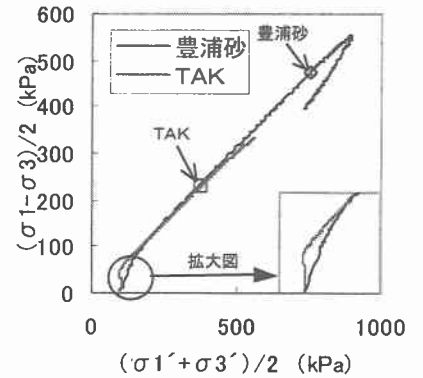


図-4 有効応力経路

図-7, 8 に TAK と TAK2 の密づめ供試体 (TAK, $D_r=73\%$ TAK2, $D_r=74\%$) の CU 試験結果の一例 ($\sigma_c=98\text{kPa}$) を示す。図-7 より、最大主応力差は TAK のほうが TAK2 よりも小さく、剛性も TAK のほうが小さいことが分かる。過剰間隙水圧の増加量に差はない。減少量は TAK が TAK2 よりも小さい。図-8 の有効応力経路において矢印は、応力比が最大になったときを示している。応力比最大時のせん断応力は、TAK のほうが大きいことが分かる。また、せん断初期の段階で TAK のほうが TAK2 より破壊線に近く動きをする。

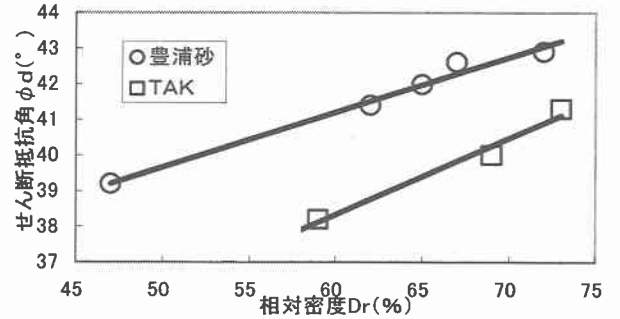


図-5 豊浦砂とTAKのφ_d-Dr 関係

4. 結論

- (1) 鳥取県西部地震の噴砂の中で竹内工業団地の噴砂 (TAK) のみが、日本港湾協会の液状化を起こしやすいと言われる範囲外にある。TAK の最大間隙比が際立って大きい。
- (2) CU 試験の結果より相対密度 50~75% において、TAK は豊浦砂よりもせん断抵抗角 ϕ_d が小さい。
- (3) CD 試験の結果より相対密度 50~75% において、TAK は豊浦砂よりもせん断抵抗角 ϕ_d が小さい。また、TAK は豊浦砂より圧縮しやすく、膨張しにくい。

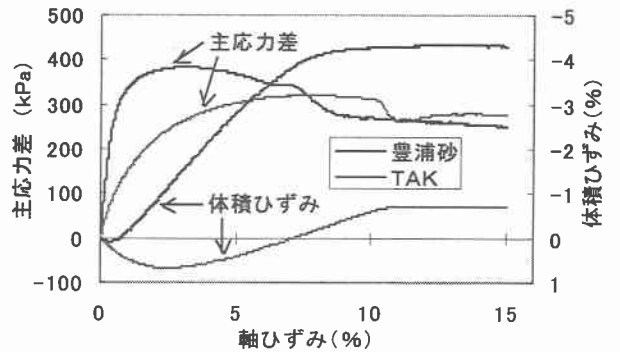


図-6 主応力差、体積ひずみ－軸ひずみ関係

- (4) TAK から $20\mu\text{m}$ 以下の細粒分を除いても、破壊時のせん断強度は大きくなりなことが分かった。

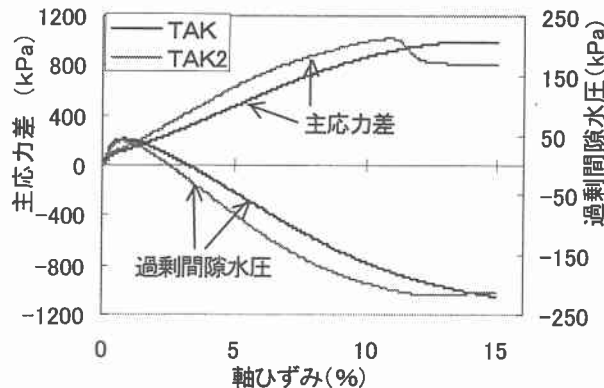


図-7 主応力差、過剰間隙水圧－軸ひずみ関係

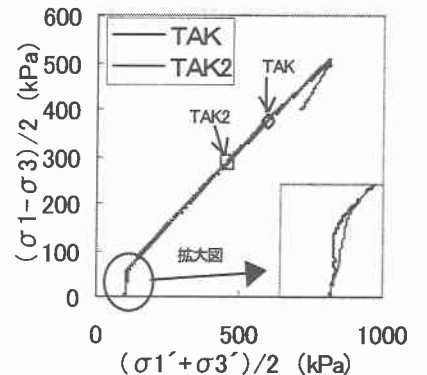


図-8 有効応力経路

参考文献 日本港湾協会：港湾施設の技術上の基準・同解説，1979。