

弾性波伝播特性を利用したしらすの固結度評価の試み

九州大学工学部 学○阿部 和矢 正 落合 英俊
正 林 重徳 学 梅村 順

1. はじめに

地山しらすは、堆積時の溶結作用に伴って生じた粒子間の固結を有しており、この固結に起因して乱したしらすに比べて大きな強度を示すといわれている。しかし、この固結は切土斜面等の場合には風化作用を受けると次第に失われ、地山しらすの力学的性質が変化して、斜面の安定性や侵食に対する抵抗力に大きな影響を及ぼすものと考えられる。そこで著者らは、地山しらすの固結が消失して力学的性質が変化していく過程を室内実験等で定量的に捉えることを目指しているが、従来行われている力学試験では強度の変化過程を調べるのが難しい。本文では、この固結の度合を非破壊試験である弾性波測定試験で評価する方法について、一軸圧縮試験及び圧裂引張試験の結果と対比させて、その適用性について検討した。

2. 実験試料及び実験方法

試料は、粒径 $2000\mu\text{m}$ に調整した乱したしらす(粒子密度 $\rho_s = 2.615\text{g/cm}^3$)である。粒子間の固結を持たせるため空気乾燥させたしらすに普通ポルトランドセメントを混合させた。試料のセメント含有率は重量割合で、Na1:0.2% Na2:0.6% Na3:0.8% Na4:1.2%とした。ただしこの含有率は、地山しらすの持つ引張強度と同じくらいの強度がでるように決定した。これらを十分練り混ぜ内径5cm、高さ15cmのモールドに充填し2日間放置した後、供試体を脱型し含水比20%に調整したしらす中で約一ヶ月養生させた。実験は、超音波による弾性波試験と、一軸圧縮試験及び圧裂引張試験を行った。

3. 力学試験結果と弾性波試験結果の評価

地山しらすは、粒子間の固結に起因した引張強度 S_t を持つと言われている。村田らによると、引張強度すなわち固結度の大きい試料ほど一軸圧縮強度 S_c は大きく、圧縮強度と引張強度を用いたモール円から求めた見かけの粘着力 C (τ 軸切片)は、引張強度が大きい供試体ほど固結度に支配されている¹⁾²⁾。そこで、力学試験によるしらすの固結度評価には、引張強度、圧縮強度及び見かけの粘着力を用いると良いと考えられる。ところで、弾性波試験からはP波(疎密波)速度 V_p 、S波(せん断波)速度 V_s を測定できる。P波速度は、供試体の含水状態や空隙状態の影響を受けやすく、S波速度は、土粒子の大きさや形状及びその締りぐあいに支配される土粒子の骨格構造の弾性によって決まると言われている。また、これらの速度を用いて弾性論に基づく弾性定数 E 、 G 、 ν を次式より求められ、力学的諸性質を知ることができる。

$E=2(1+\nu)G$ $G=\rho V_s^2$ $\nu=(V_p^2-2V_s^2)/2(V_p^2-V_s^2)$ ヤング率 E は単位ひずみを起こすのに必要な応力で、供試体の強度が大きい程大きくなり、剛性率 G は体積変化を伴わない形状の変化に対する抵抗力で、大きい程変形しにくいことを示す。ポアソン比 ν は軸方向と直角方向のひずみ比であり、伸びやすさを表す一つの指標と言える。したがって、力学試験から求まる引張強度、圧縮強度及び見かけの粘着力と弾性波速度の関係を明らかにすることで、弾性波が固結度を評価する有効な情報になると考えられる。

4. 結果および考察

弾性波試験結果及び力学試験結果をそれぞれ表-1、表-2に示す。表-1中のヤング率、剛性率は速度が大きい供試体ほど大きく、大体において固い供試体ほど速度が大きくなると考

表-1 弾性波試験結果

	V_p (m/s)	V_s (m/s)	E (10^8kgf/cm^2)	G (10^8kgf/cm^2)	ν
Na1	149	64	1.92	0.69	0.39
Na2	199	95	4.16	1.55	0.35
Na3	125	52	1.52	0.60	0.40
Na4	253	119	6.28	2.32	0.36

えられる。このことは、ポアソン比が速度の大きい供試体ほど小さくなることから考えられる。表-2中の圧縮強度は引張強度が大きいほど大きく、また圧縮強度の大きい供試体は、その破壊時に縦方向のクラックを生じる特徴があった。見かけの粘着力は引張強度、圧縮強度が大きい供試体ほど大きいことより、見かけの粘着力には固結度が大きく表れていることが分かる。なお見かけの粘着力は図-1に示すようにモール円を描いて求めた³⁾。図-2, 3, 4は力学試験結果と弾性波速度の関係を示したものである。図に示すように、P波速度とS波速度は共に圧縮強度、引張強度及び見かけの粘着力が増加するにつれて大きくなっているが、その中でも見かけの粘着力との関係が最も直線であった。P波速度及びS波速度との関係はそれぞれ次式で示すことができる。

表-2 力学試験結果

	S c (kgf/cm ²)	S t (kgf/cm ²)	C (kgf/cm ²)
Na 1	0.492	0.050	0.095
Na 2	0.739	0.062	0.125
Na 3	0.326	0.040	0.075
Na 4	0.810	0.100	0.180

$$S_c = -0.0924 + 0.0038 \cdot V_p$$

$$S_c = 0.0014 + 0.0072 \cdot V_s$$

$$S_t = -0.0187 + 0.0005 \cdot V_p$$

$$S_t = -0.0051 + 0.0008 \cdot V_s$$

$$C = -0.0264 + 0.0008 \cdot V_p$$

$$C = -0.0034 + 0.0015 \cdot V_s$$

ところで、S波速度に比べるとP波速度は力学試験結果に対しばらつきが生じていることが図より分かる。このことは、P波速度は含水状態に影響されやすいが、S波速度は含水状態に影響される所が極めて小さく、粒子間の締めりぐあいなどに影響を受けることから説明できると考える。

5. まとめ

固結度の違う各試料を用いて力学試験と弾性波試験を行い、その固結度と弾性波伝播特性との関係について強度と対比させながら考察した結果、次の結論を得られた。① 引張強度は粒子間の固結によるものと考えられ、引張強度が大きい試料ほど見かけの粘着力が大きくなった。このことより、見かけの粘着力には固結度が大きく表れると考えられる。② 弾性波速度は強度が大きい試料ほど大きく、P波速度よりもS波速度のほうが力学試験結果との関係においてばらつきが小さくなった。③ 固結度が大きく表れると思われる見かけの粘着力は、圧縮及び引張強度に比べP波及びS波速度との関係が直線であると考えられる。これらの結果は、弾性波測定試験でしらすの固結度を評価することが可能ではないかということを見させるに十分であると言える。

謝辞 弾性波測定装置の使用に御協力いただいた九州電力中央技術研究所に謝意を表します。なお本研究は、文部省科学研究費一般研究〔B〕(課題番号04452228)の補助を受けた。

参考文献 1) 村田他(1976): 九大工学集報, pp723-730, 2) 村田他(1977): 土質工学会論文集, pp81-91, 3) 山口他(1967): 岩石学入門, pp122-126,

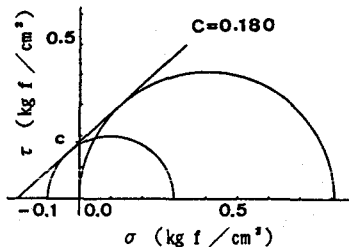


図-1 一軸圧縮試験及び圧裂引張試験の結果一例 (Na 1)

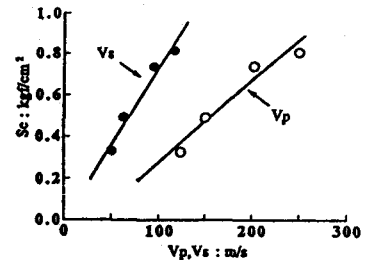


図-2 一軸圧縮強度 S_c と P 波速度 V_p 及び S 波速度 V_s の関係

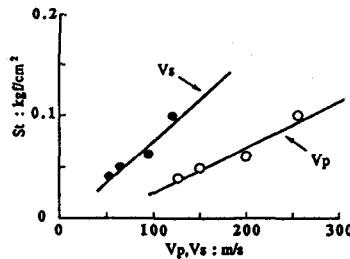


図-3 圧裂引張強度 S_t と P 波速度 V_p 及び S 波速度 V_s の関係

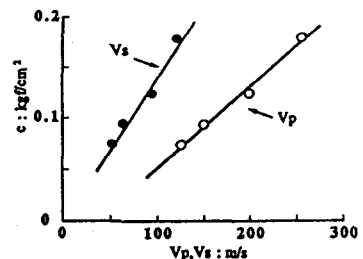


図-4 見かけの粘着力 C と P 波速度 V_p 及び S 波速度 V_s の関係