

気泡混合軽量盛土の噴泥に関する研究

長岡技術科学大学大学院 学生会員 西 紀行
 長岡技術科学大学 正会員 海野隆哉

1. はじめに

現在、鉄道の盛土材として使用されている気泡混合軽量土は、設計強度を 1500kPa に設定したものである。本研究室では、今後更なる軽量化をはかるにあたり設計強度を 1000kPa、500kPa に設定した配合について研究を行っている。昨年度、野上は設計強度 500kPa、1000kPa、1500kPa 配合を対象として、湿潤状態で振幅が設計路盤圧力に等しい繰返し载荷試験を行なった。1500kPa 配合では、噴泥を起こさず沈下もまったく進行しないことを確認している。また設計強度 500kPa、1000kPa の盛土模型では、噴泥現象を確認した。本研究では、噴泥発生荷重を検証するために荷重条件を段階载荷とし湿潤状態における繰返し载荷試験を実施した。噴泥発生の主原因は水であることから、気泡混合軽量土の飽和供試体について、吸水特性および力学特性を検証する要素試験を実施した。この模型試験と要素試験の結果から噴泥発生メカニズムを解明することを目的としている。

2. 湿潤状態での繰返し载荷試験

2-1. 軽量盛土模型の作製方法

試験で用いた軽量盛土模型（以下盛土模型）は表-1の配合に基づいて作製した。盛土模型は固化材と粘土、水を練り混ぜたものに、気泡発生装置で発泡させた気泡を混入するプレフォーム方式で作製し、型枠に打設後、所定の強度が発現するまで気中養生を行った。なお、盛土模型の寸法は、長さ 0.9m×高さ 0.5m×幅 0.3m の直方体型である。

2-2. 試験方法

図-1 に試験概要図を示す。試験ケースは全 7 ケース行い、ケース 1、2 については昨年度の試験の確認として、荷重条件を上載圧 70kPa、繰返し圧 ±55kPa とした。ケース 3~7 は 10 万回ずつの段階载荷で実施した。最大载荷圧に占める繰返し圧の割合は、おおむね 40% である。ケース 1 を除くすべてのケースで、最初の 20 万回を水がない状態で上載圧 70kPa、繰返し圧 ±55kPa に設定して予備载荷を実施した。

表-1 配合(1m³ 当り)

| Case | 水セメント比 | 粘土 | 固化材 | 水 | 空気量 |
|------|--------|-----|-----|-----|-----|
| 1,4 | 1.65 | 180 | 180 | 297 | 578 |
| 2,5 | 1.57 | 210 | 210 | 329 | 523 |
| 3 | 1.44 | 240 | 240 | 345 | 487 |
| 6 | 1.44 | 187 | 187 | 269 | 600 |
| 7 | 1.44 | 164 | 164 | 235 | 650 |

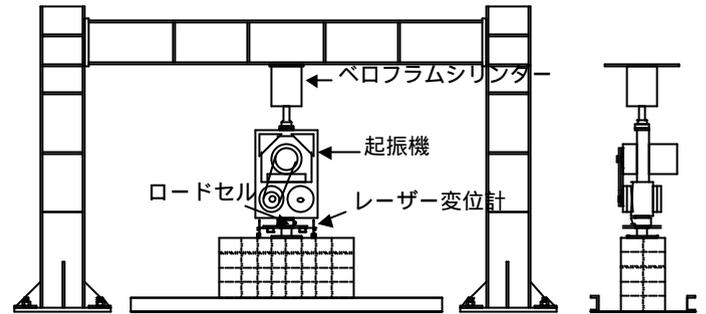


図-1 試験概要図

2-3. 試験結果

試験結果を図-2、図-3、図-4 に示す。

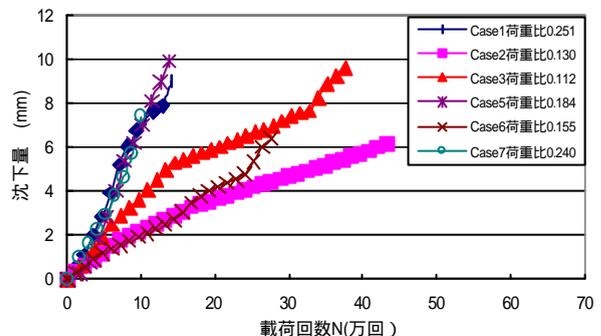


図-2 試験結果 (Case4 を除く)

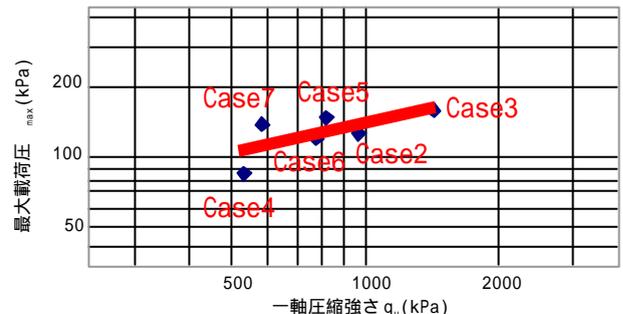


図-3 一軸圧縮強さと最大载荷圧の関係

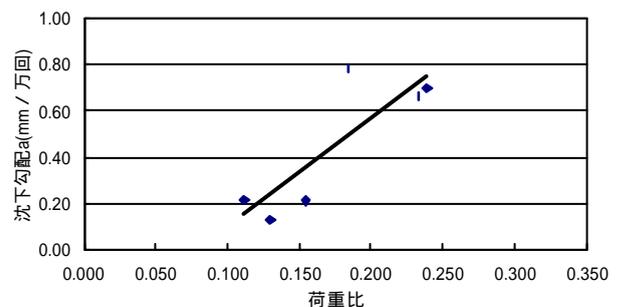


図-4 荷重比と沈下勾配の関係

キーワード：気泡混合軽量土、噴泥、繰返し载荷試験

連絡先：長岡技術科学大学 海野隆哉 E-mail: tkaino@vos.nagaokaut.ac.jp TEL:0258-47-9608

湿潤状態での繰返し載荷試験より次のような知見が得られた。

1. 軽量盛土への水の浸透は、ほとんどなく表面のごくわずかな部分のみである。
2. 一軸圧縮強さ q_u (kPa) と最大載荷圧 p_{max} (kPa) の関係は $p_{max} = 7.34q_u^{0.43}$ で表すことができる。
3. 噴泥時の荷重比（最大載荷圧 p_{max} / 一軸圧縮強さ q_u ）が大きいほど沈下勾配も急になる。

3. 飽和供試体を用いた要素試験

3-1. 飽和供試体の作製および飽和度算定方法

本試験では設計強度 500kPa 配合を対象とした。また、負圧を用いて供試体を飽和させた。飽和度を算定するにあたり次のような仮定を設けた。

セメント重量の 25% の水がセメントと結合する。

ブリージングは考慮しない。

吸水前後の体積は同一とする。

供試体の体積を測定し、供試体の飽和重量 W_{sat} 、乾燥重量 W_d を算出する。煮沸後の供試体重量を W とすると飽和度 S_r は式-1 で表される。

$$S_r [\%] = \frac{W - W_d}{W_{sat} - W_d} \times 100 \quad \dots \text{式-1}$$

3-2. 飽和供試体の力学的特性の検証

一軸および三軸圧縮試験を実施し、飽和供試体の力学的特性について検証した。その結果を表-2 に示す。

表-2 要素試験結果

| 試験方法 | 供試体状態 | 背圧 u_b (kPa) | 拘束圧 (kPa) | 圧縮強さ (kPa) | 飽和度 S_r (%) |
|------------|----------|----------------|-----------|------------|---------------|
| 一軸 (3本の平均) | 不飽和 | - | - | 414.4 | 26.9 |
| | 飽和 | - | - | 406.1 | 102.8 |
| 三軸 | 不飽和 (UU) | 0 | 50 | 538.9 | 29.6 |
| | | 0 | 100 | 411.1 | 29.1 |
| | | 0 | 200 | 468.4 | 30.2 |
| | | 0 | 400 | 206.3 | 29.6 |
| | 飽和 (UU) | 200 | 100 | 356.0 | 103.0 |
| | | 200 | 200 | 368.9 | 103.1 |
| | | 0 | 200 | 456.8 | 102.3 |
| | | 0 | 400 | 456.8 | 102.3 |

*) S_r は式-1 により算定したものの

一軸圧縮試験では飽和供試体も不飽和供試体も、ほぼ同程度の一軸圧縮強さとなり、飽和による一軸圧縮強さへの影響はないと考えられる。

不飽和供試体の UU 試験では強度のバラツキが出た。一軸圧縮強さより大きくなるものもあったが拘束圧 400 kPa のとき最大軸差応力は、206.3kPa と著しく低下している。

飽和供試体の UU 試験を背圧 200kPa として実施し、拘束圧 100、200kPa とともに同程度の最大軸差応力を得た。これは、拘束圧依存性が小さいという傾向を示している。また、軸圧縮力に伴う間隙水圧は、拘束圧が大きいほど大きくなる傾向を示している。不飽和供試体と比較して飽和供試体の最大軸差応力が

小さいのは背圧が供試体端面付近にのみ作用して、実際は、軸圧縮力として作用している可能性がある。

そのため、飽和供試体の UU 試験を背圧のない状態で実施した。拘束圧が 400kPa の UU 試験との比較を行なうと、不飽和供試体にくらべ飽和供試体は、最大軸差応力が 2.2 倍程度となっており、この結果は破壊形式に反映あり、不飽和供試体は側方拘束によって鉛直方向のみに変形を許し破壊したのに対し、飽和供試体は、気泡部分の間隙水によって体積変化できなかった結果、局部破壊を起こしたものと考えられる。

4. 噴泥発生メカニズム

載荷板の圧力で盛土表面に浸透した水が気泡の部分を満たして飽和状態になる。圧縮力を受けて発生する間隙水圧によって、図-5 のように骨格部分が両側から支圧された状態できつりあう。この状態では盛土の破壊はなく、噴泥を発生することもない。しかし、視点をもう少し下の層に向けてみると、図-6 のように飽和していない気泡の層との境目で、間隙水圧が片側だけから作用するため骨格に曲げおよびせん断応力が作用し、骨格が破壊され易い状態になると考えられる。破壊された骨格は細粒化し水と一緒に泥ねい化し、噴泥しやすい状態となり噴泥を発生し排出される。このような破壊が繰り返されることによって、沈下が進行すると考えられる。噴泥発生荷重の載荷開始から噴泥発生までに時間差があったのは、気泡中に水が浸透し飽和度が高くなるまでの時間および破壊された骨格部分が泥ねい化し噴泥を引き起こすまでの時間だったと考えられる。

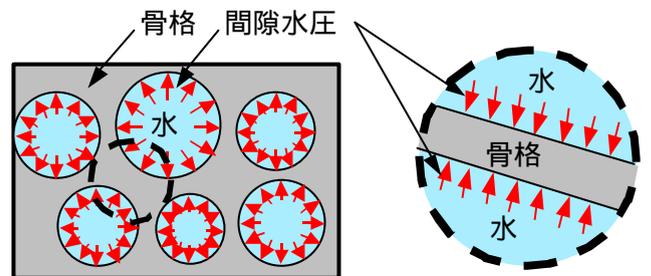


図-5 飽和した層

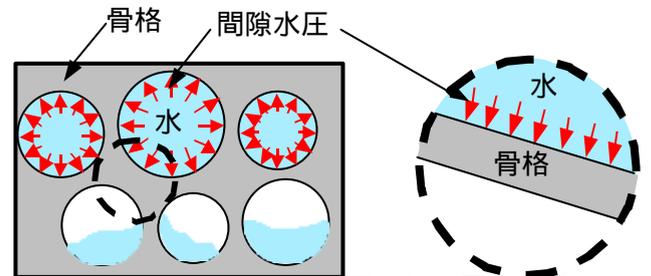


図-6 飽和した層と不飽和の層の境界

5. 結論

繰返し載荷試験の結果より得られた関係は、一軸圧縮強さから噴泥発生荷重を予測する場合に利用可能である。また、本試験で行なった飽和供試体および不飽和供試体の要素試験の比較から想定した噴泥発生メカニズムに矛盾がないことを確認できた。