

Ⅲ-179

八郎潟粘土の異方圧密後のねじりせん断試験の解析

岐阜大学 正会員 岡 二三生 岐阜大学 正会員 八嶋 厚
 日本道路公団 正会員 ○ 高橋 英俊 岐阜大学大学院 学生会員 安田 克博
 (元岐阜大学大学院)

1. はじめに

異方圧密後の中空ねじり試験(軸方向非拘束)において、せん断中の軸方向のひずみの発生が確認されている。しかし、従来の構成式(等方モデル、線形モデル)を用いても、この軸ひずみ ε_{11} の変化を表現することができなかった。そこで、Armstrong & Fredrick^[1]により提案され、Chaboche ら^[2]によって一般化された非線形移動硬化理論を岡^[3]、岡・足立・三村^[4]の弾粘塑性構成式に導入することにより、実際に行った八郎潟粘土の異方圧密後の中空ねじり試験結果について解析を行った。

2. 試験結果

圧密段階を応力制御式で多段階载荷により $\sigma'_m = 0.8(kgf/cm^2)$ まで異方圧密した後、非排水状態で主応力のみが回転する中空ねじりせん断試験を行い、主応力の回転が粘土の変形・強度特性に及ぼす影響について調べた。圧密の条件は、圧縮側においては $K_0 = 0.45$ (NAH8-1)、伸張側においては $K_0 = 2.0$ (NAH8-2) で異方圧密を行った。行った試験の条件を表.1 に、試験結果を図.1~図.5 に示す。試験結果より、NAH8-1 は γ^* が約 3.0(%) のときにピーク強度 $0.6(kgf/cm^2)$ に達している。等方圧密後の中空ねじり試験の結果と比べると、ピーク強度に達するまでのひずみは異方圧密後の中空ねじり試験の方が小さくなっていたが、これは、多段階で行う異方圧密試験は一種の排水せん断試験であり、圧密段階ですでに粘土の構造骨格が破壊されてしまった為だと考えられる。

表.1 試験条件

試験名	ひずみ速度 (%/min.)	試験前の 間隙比	試験後の 間隙比	破壊応力比
NAH8-1	6.06×10^{-3}	3.422	2.708	1.160
NAH8-2	6.05×10^{-3}	3.693	3.226	1.100

伸張側において異方圧密をした NAH8-2 の試験結果では、NAH8-1 のような明瞭なピークおよび軟化現象はみられなかった。異方圧密後の中空ねじり試験である NAH8-1, NAH8-2 においては、せん断中の軸方向に対する変位が確認できた。

3. 解析結果

非線形移動硬化理論を導入した静的降伏関数、塑性ポテンシャル関数は次のように示せる。

静的降伏関数 f_y

$$f_y = \{(\eta_{ij}^* - x_{ij}^*) \cdot (\eta_{ij}^* - x_{ij}^*)\}^{1/2} + \alpha M_m^* \ln \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{my}} \right) = 0 \quad (1)$$

$$dx_{ij}^* = B^* (A^* d\varepsilon_{ij}^{vp} - x_{ij}^* d\gamma^{vp}) \quad (2)$$

塑性ポテンシャル関数 f_p

$$f_p = \{(\eta_{ij}^* - x_{ij}^*) \cdot (\eta_{ij}^* - x_{ij}^*)\}^{1/2} + \tilde{M}^* \ln (\sigma'_m / \sigma'_{ma}) = 0 \quad (3)$$

以上の関数を弾粘塑性構成式に導入すると次式のようになる。

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_{ij} = & \frac{1}{2G} \dot{\sigma}_{ij} + \frac{\kappa}{3(1+e)} \frac{\dot{\sigma}'_m}{\sigma'_m} \delta_{ij} + C_{01} \frac{\langle \Phi'_1(F) \rangle}{\sigma'_m} \frac{\Phi_2(\xi)}{\eta_x^*} (\eta_{ij}^* - x_{ij}^*) \\ & + C_{02} \frac{\langle \Phi'_1(F) \rangle}{\sigma'_m} \frac{\Phi_2(\xi)}{\sigma'_m} \left\{ \tilde{M}^* - \frac{\eta_{mn}^* (\eta_{mn}^* - x_{mn}^*)}{\eta_x^*} \right\} \frac{1}{3} \delta_{ij} \end{aligned}$$

この構成式を用いて異方圧密後の中空ねじり試験結果の解析を行った。解析パラメータを表.2 に示す。図.1~図.4 中の破線が解析結果である。図.1 より、解析結果の方が試験結果(NAH8-1) に比べ軟化の程度が小さくなっている。せん断初期の立ち上がりに僅かな差はあるものの、ピークに達するまでのひずみおよび強度は同じ傾向を示している。図.3 では、試験結果(NAH8-2) は軟化傾向を示さないのに対して、解析結果の方は初期の立ち上がり方が小さくなっていて軟化傾向を示している。

全体的な傾向としては、異方圧密後の中空ねじり試験の変形特性が定性的に表現されており提案した弾粘塑性構成式の有効性が八郎潟粘土においても確かめられた。また、図.5 の破線は、ねじりせん断中の軸ひずみ-せん断ひずみ関係に対する解析結果である。なお、 x_{ij} の初期値は $\eta_{ij}(0)$ とした。試験結果と解析結果の比較にみられる差異は、粘土の持つ初期構造異方性による影響が一つの要因ではないかと考えられる。

4. 考察

非線形移動硬化理論を導入した弾粘塑性構成式を用いることによって、異方圧密された八郎潟粘土の中空気ねじり試験結果がうまく表現できることが分かった。また、従来の構成式では表現できなかったねじり試験中の軸ひずみの変化を表現することが可能であることが明らかになった。これは、先に報告された東大阪粘土の解析結果^[6]とも一致している。

5. 参考文献

- [1] Armstrong, P.J., Frederick, C.O. (1966) : C.E.G.B. Report RD/B/N 731.
- [2] Chaboche, J.L., Rousselier, G. (1983) : Journal of Pressure Vessel Technology, Vol.105, pp.153-158.
- [3] Oka, F. (1982) : International Symposium on Numerical Models in Geomechanics, Zurich, pp.13-17.
- [4] Oka, F., Adachi, T., Mimura M. (1988) : Proc. of Int. Conf. on Rheology and Soil Mechanics.
- [5] 奥村 浩 (1994) : "過圧密粘土の挙動と構成式" 岐阜大学大学院修士論文

表.2 解析パラメータ

		圧縮側 (NAH8-1)	伸張側 (NAH8-2)
ヤング係数	E	100 (kgf/cm ²)	110 (kgf/cm ²)
間隙比	e	3.422	3.693
破壊時の応力比	M_f	1.160	1.055
最大圧縮点の応力比	M_m	1.165	1.120
材料定数	B	80	80
	G_0^*	400	400
粘塑性パラメータ	m_0^*	10.4	10.4
	C_{o1}	4.1×10^{-6} (1/sec.)	4.1×10^{-6} (1/sec.)
	C_{o2}	5.3×10^{-7} (1/sec.)	5.0×10^{-7} (1/sec.)

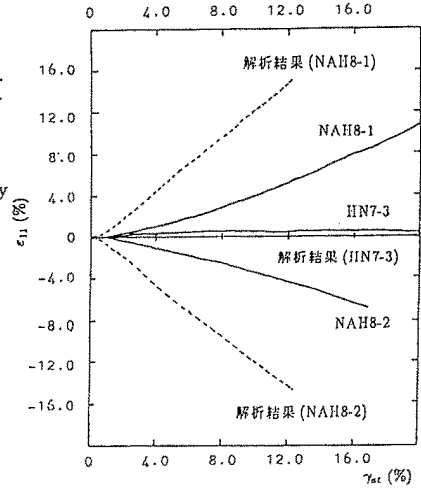


図.5 軸ひずみ-せん断ひずみ関係

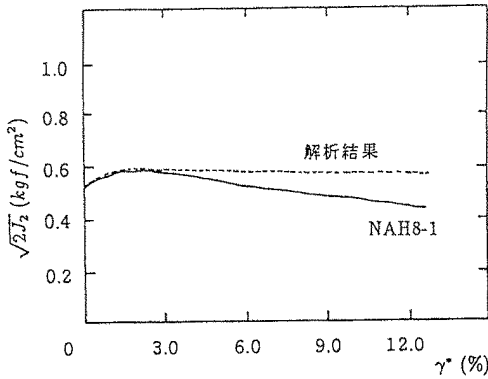


図.1 NAH8-1 応力-ひずみ関係

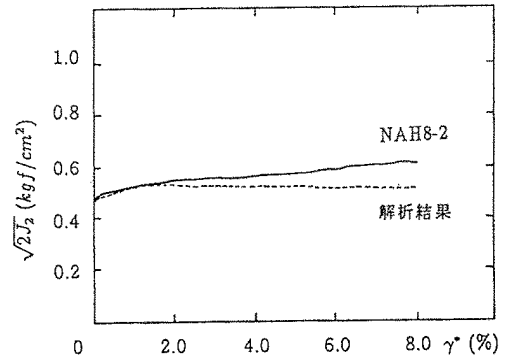


図.3 NAH8-2 応力-ひずみ関係

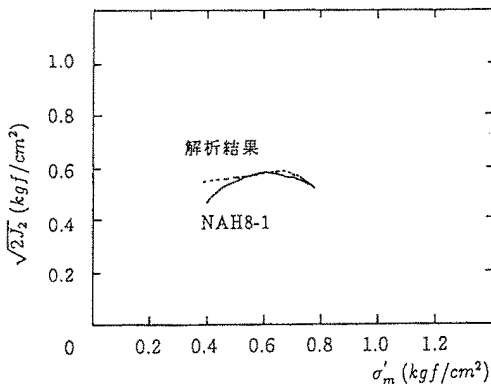


図.2 NAH8-1 有効応力径路

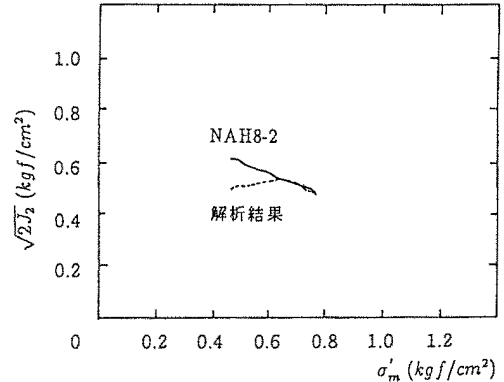


図.4 NAH8-2 有効応力径路