

tij モデルを適用した河川築堤盛土の圧密沈下解析について

(株)奥村組 正会員 外木場康将

JIP テクノサイエンス(株) 正会員 ○田中克弘

(株)ハイドロ総合技術研究所 正会員 森田修二

JIP テクノサイエンス(株) 正会員 戸田圭彦

1. まえがき

河川堤防の嵩上げを目的とした盛土では、最終的な沈下予測が問題となる。今回、施工した河川築堤盛土においても沈下量の予測が課題となった。現地では、地盤のボーリング調査や室内試験などを実施するとともに数値解析による沈下予測を行っている。軟弱地盤の圧密沈下の予測に際しては、土の挙動を表す構成則について、古くから様々な式が提案されている。著名な構成則としては、Cam clay モデルや関口・太田モデル、tij モデルなどがある。本報告では、関口・太田モデルと tij モデルを適用して沈下量の予測を行ったので、その結果を報告する。解析にあたっては、3次元地盤解析コード FEAST を使用した。

2. tij モデル

tij モデルや関口・太田モデルの詳細については、参考文献^{1), 2)}などを参照して頂きたい。両者ともに降伏関数を用いて土の弾塑性挙動を表している。様々な構成則と比べて tij モデルの特長は、式(1)を用いて応力テンソル σ_{ij} に対して修正応力 t_{ij} を定義して降伏関数を書き改めていることであり、一般の主応力空間(図-1)はtij 応力空間では図-2のように表される。tij モデルの降伏関数は、式(2)で表される¹⁾。

$$t_{ij} = a_{ik}\sigma_{kj} \quad (1)$$

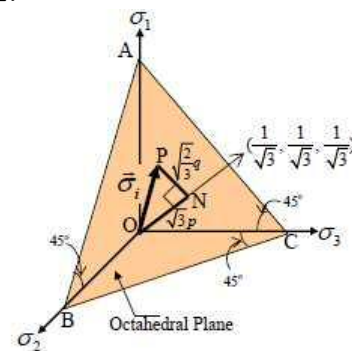
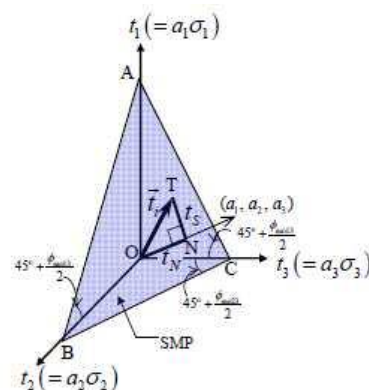
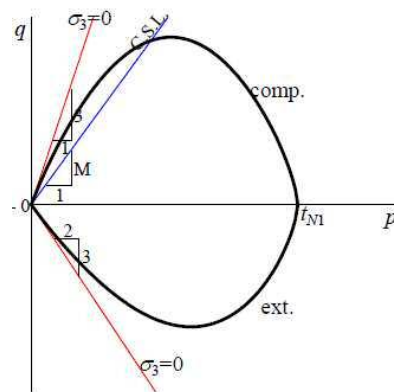
$$f = (\lambda - \kappa) \left\{ \ln \left(\frac{t_N}{t_{N0}} \right) + \zeta(X) \right\} + (1 + e_0) \varepsilon_v^p \quad (2)$$

$$\zeta(X) = \frac{1}{\beta} \left(\frac{X}{M^*} \right)^\beta \quad (3)$$

$$M^* = \left(X_{cs} + X_{cs}^{\beta-1} Y_{cs} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (4)$$

$$X_{cs} = \frac{\sqrt{2}}{3} \left(\sqrt{R_{cs}} - \frac{1}{\sqrt{R_{cs}}} \right), \quad Y_{cs} = \frac{1 - \sqrt{R_{cs}}}{\sqrt{2}(\sqrt{R_{cs}} + 0.5)}$$

ここで、 a_{ij} は SMP 平面の法線方向余弦を主値とする対称テンソル、 λ は圧縮指数、 κ は膨潤指数、 t_N は t_{ij} 応力の平均応力、 t_{N0} は初期平均応力、 ζ は応力比 $X (= t_s/t_N)$ の関数、 e_0 は初期間隙比、 ε_v^p は塑性体積ひずみ、 M^* と β は限界状態に関わる関数や係数であり、 R_{cs} は主応力比 $(= \sigma_1/\sigma_3)$ である。tij モデルを用いることで、異なる応力状態(3軸圧縮、3軸伸長、平面ひずみ)における中間主応力の影響を1つの式で表すことができる。また、tij モデルの降伏関数は図-3に示すように、引張応力が発生せず安定的なシミュレーションが行える特長(同図中に引張応力となる境界線 $\sigma_3 = 0$ を示す)がある。なお、 $\beta=1$ とすると tij 応力空間における降伏曲面の形状は Cam clay モデルと一致する。

図-1 一般の主応力空間¹⁾図-2 tij モデルの主応力空間¹⁾図-3 tij モデルの降伏関数¹⁾

キーワード：圧密沈下，tij モデル，関口・太田モデル，FEM 解析

連絡先：〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1 (株)奥村組 外木場康将 (TEL) 03-5427-8041 (FAX) 03-5427-8114

3. 要素シミュレーション

図-4には、圧密層 (Ac1) を対象とした標準圧密試験の結果を示す。要素シミュレーションによって、tij モデルと関口・太田モデルで用いるパラメータの値を決定した。表-1 と表-2 には決定したパラメータを示す。表-2 の tij モデルのパラメータの中で、N は 98kPa における正規圧密の間隙比である。また、対象層の透水係数は $k=6 \times 10^{-6}(\text{cm/sec})$ と設定した。

4. 盛土解析

図-5 には、現地の築堤盛土 (白色部分) をモデル化した要素分割図を示す。ボーリング調査の結果から決定した Ac1 層以外の地盤の物性値を表-3 に示す。変形係数は、N 値から $E=2800 \times N$ で設定した。図-6 には、解析結果と計測結果の比較を示す。元地盤の天端 (点 A) に沈下板を設置して、腹付け盛土が計測点の高さに達して以降の計測を行っている。解析では点 A と点 B の結果を示す。計測結果に比べて解析結果の沈下量が少し小さいが、即時沈下に差が見られ、変形係数の想定に課題がある。なお、解析結果の tij モデルと関口・太田モデルの差は小さいと言える。

5. あとがき

本報告では、tij モデルと関口・太田モデルを用いて圧密沈下解析を行い計測結果との比較を行い、tij モデルの適用性を確認した。tij モデルの導入にあたっては、中部大学客員教授・中井照夫先生の tij 地盤解析研究会で懇切丁寧なご指導を受けたことに感謝の意を表します。

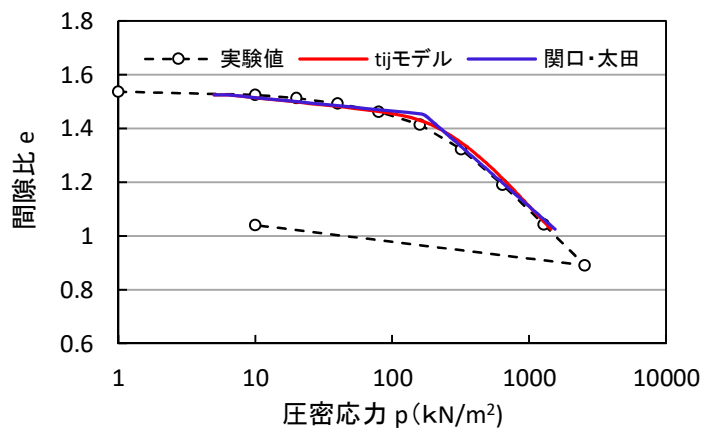


図-4 圧密試験の要素シミュレーション

表-1 要素シミュレーションによるパラメータ

	圧縮指数 λ	膨潤指数 κ	初期間隙比 e_0	破壊応力比 M	先行圧縮荷重 σ_{cs} (kN/m²)
tijモデル	0.25	0.02	1.525	—	—
関口・太田	0.2	0.02	1.525	2.0	160

表-2 要素シミュレーションによる tij のパラメータ

R_{cs}	N	β
5.0	1.55	2.0

※N は 98kPa の正規圧密状態の間隙比

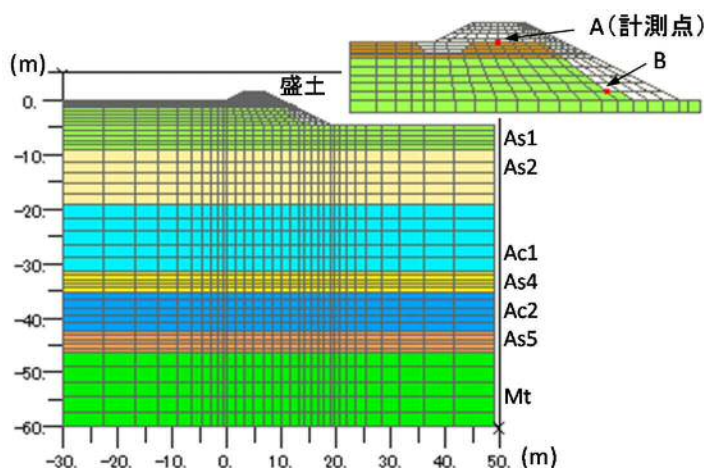


図-5 解析モデルの要素分割

表-3 地盤の物性値

地層名	変形係数 E (kN/m²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m³)
盛土	22000	0.35	18
As1	16800	0.35	18
As2	39200	0.35	18
Ac1	—	0.45	15
As4	32000	0.35	18
Ac2	16000	0.40	16
As5	71000	0.30	18
Mt	369000	0.30	20

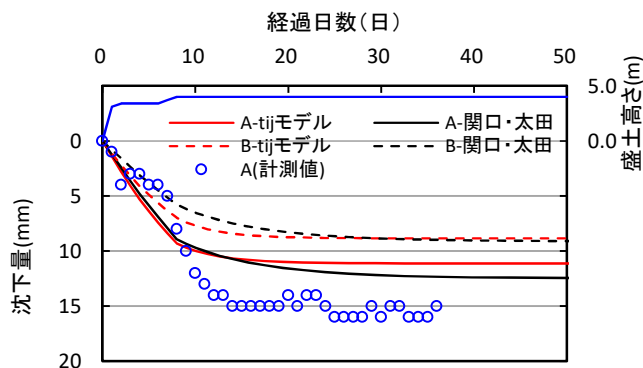


図-6 地表面の沈下量

[参考文献]

- 1) NAKAI, T. : "CONSTITUTIVE MODELING OF GEOMATERIALS PRINCIPLES AND APPLICATIONS", CRC PRESS, 2013.
- 2) Iizuka, A. and Ohta, H. : "A Determination Procedure of Input Parameters in Elasto-Viscoplastic Finite Element Analysis", Soils and Foundations, Vol.27, No.3, pp.71-87, 1987.