

タイヤチップ固化処理土の弾塑性構成モデルとその適用

茨城大学	正会員	○村上 哲
茨城大学	フェロー	安原 一哉
茨城大学	学生員	田中 卓也
東亜建設工業	正会員	御手洗義夫

1. はじめに

タイヤチップを混入した固化処理土は、粘り強いせん断特性を示すことが知られている。本研究では、著者が提案しているせん断に伴う固結力の低下を考慮した下負荷面弾塑性構成モデル¹⁾を拘束圧依存性が考慮できるモデルへ拡張し、その適用性について実験結果との比較により検討したものである。

2. せん断に伴う固結力の低下を考慮した弾塑性構成モデル

セメント固化処理土は、無処理の土と比べて、高い圧密降伏応力とせん断強度・剛性を有する。弾塑性論に基づいた場合、応力空間上に描かれる降伏曲面は、無処理の場合の土に比べ、固化処理土は大きく、また、引張に対する抵抗を示すものとして図-1(a)のように描かれる。塑性変形の生じやすさの違いはこれにより表現することができる。一方、カムクレイ・モデルなどは $e - \ln p'$ 関係から得られる膨潤指数より弾性係数を決定することから、弾性変形の予測は $p > 0$ の範囲に限られる。つまり、固化処理土の特徴の1つである引張抵抗の現象を表すことができない。そこで、固化処理土には、内部拘束応力 p_c が生じていると考え、次の修正有効応力を導入する。

$$\sigma'' = \sigma' + p_c \mathbf{I}$$

本研究では、 p_c を固結力と呼ぶこととする。この修正有効応力空間において、それぞれの降伏曲面を描いたものが図-1(b)である。降伏関数として修正カムクレイモデルを採用した場合、降伏曲面の大きさは、圧密降伏応力により表現されるが、上述の考え方による固化処理土の圧密降伏応力は、 $p_c > 0$ のとき $p'_{y,u} + p_c < p''_y$ 、 $p_c = 0$ のとき $p'_{y,u} = p''_y$ を満足しなければならない。これを満たす関係式として、本研究では次式を仮定する。

$$p''_y = (p'_{y,u} + p_c) + \alpha_c p_c^{\beta_c}$$

ここで、 α_c β_c は材料定数である。固結力の低下がせん断変形に伴って生じることを考慮して次式を仮定する。

$$p_c = p_{c, \min} + (p_{c0} - p_{c, \min}) \exp \left(-m_c \int_0^t \|\dot{\gamma}^p\| dt \right)$$

ここで、 p_{c0} は初期固結力、 $p_{c, \min}$ は最終固結力である。 $p_{c, \min} > 0$ のときは、せん断変形によって固結力が完全に消失しないこととなる。また、

m_c は塑性変形に伴う固結力の低下の程度を表し、後で考察するように材料の脆性を表現することから脆性パラメータと呼ぶ。降伏曲面の形状は、修正カムクレイ・モデルを仮定し、これに下負荷面の概念を導入する。

キーワード 固化処理土、弾塑性構成関係、タイヤチップ、じん性、脆性

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部 TEL:0294-38-5174 E-mail:murakami@mx.ibaraki.ac.jp

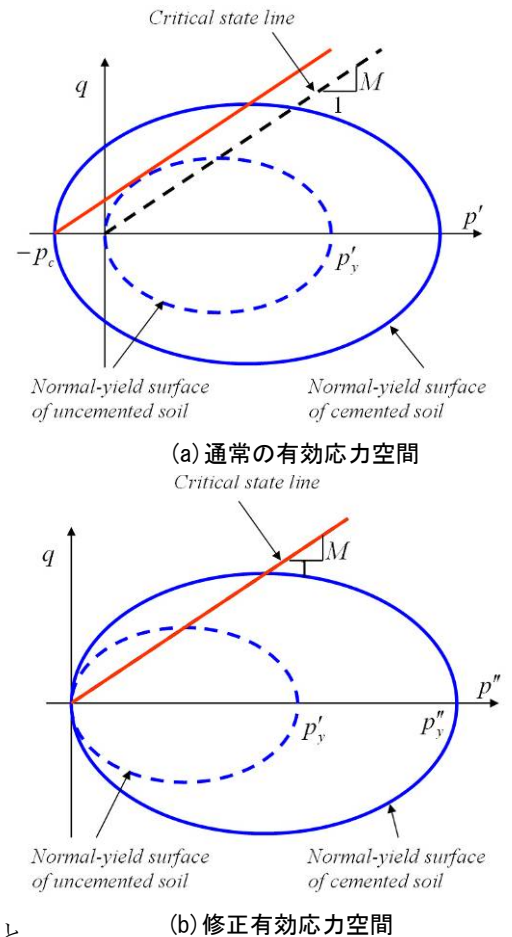


図1 応力空間における降伏曲面

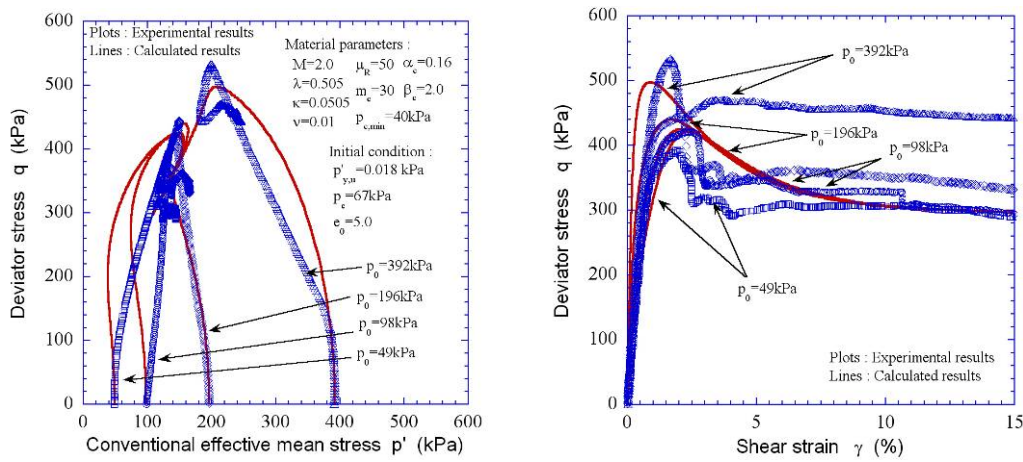


図2 無混合固化処理土の三軸圧縮試験結果と計算結果の比較

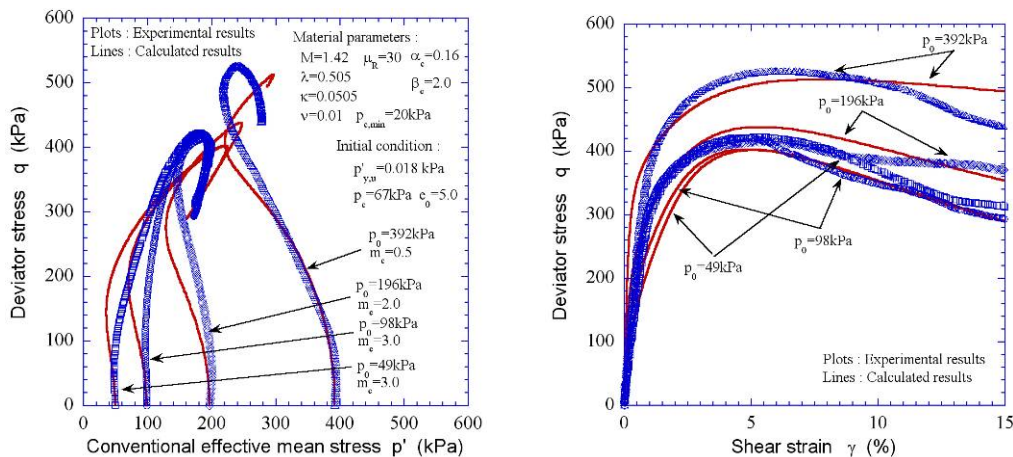


図3 タイヤチップ混合固化処理土の三軸圧縮試験結果と計算結果の比較

ラメータと呼ぶ。降伏曲面の形状は、修正カムクレイ・モデルを仮定し、これに下負荷面の概念を導入する。

$$f(\sigma'') - R \cdot p_y'' = 0 \quad \text{ここに、} \quad f(\sigma'') = p'' \frac{M^2 + \eta'^2}{M^2}$$

以上の関係から、連続性条件、関連流動則を仮定すると、次の応力速度～ひずみ速度関係が得られる。

$$\dot{\sigma}' = (\mathbf{E} - \mathbf{E}_u^p - \mathbf{E}_c^p) \mathbf{D}$$

ここで、 $\mathbf{E}$ は弾性変形テンソルであり、その他は以下のとおりである。

$$\mathbf{E}_u^p = \frac{\mathbf{E} \mathbf{N} \otimes \mathbf{N} \mathbf{E}}{H^p + \text{tr}(\mathbf{N} \mathbf{E} \mathbf{N})}, \quad \mathbf{E}_c^p = \frac{h_c \mathbf{I} \otimes \mathbf{N} \mathbf{E}}{H^p + \text{tr}(\mathbf{N} \mathbf{E} \mathbf{N})}, \quad \mathbf{N} = \frac{\partial f}{\partial \sigma''} \left/ \left\| \frac{\partial f}{\partial \sigma''} \right\| \right., \quad H^p = f(\sigma'') \left(\frac{U}{R} + \frac{h}{F_c} + \frac{h_c}{F_c} \right) \left\| \frac{\partial f}{\partial \sigma''} \right\|, \quad \dot{p}_c = \|\mathbf{D}^p\| h_c, \quad \dot{p}_{y,u} = \|\mathbf{D}^p\| h$$

3. 弾塑性構成モデルのタイヤチップ混合固化処理土への適用

タイヤチップ混合固化処理土への適用性を検討するために、三軸試験結果との比較を行った。供試体作成方法および実験方法は参考文献1を参照いただきたい。比較のためタイヤチップを混入しない実験と計算の比較も同時に実施した。図2,3は有効応力経路と軸差応力～軸ひずみ関係を示したものである。計算結果は脆性的な挙動を示す無混合固化処理土からタイヤチップを混合することによってじん性を有する材料へと変化していく実験結果をよく表現できていることが確認された。今後は、パラメータの決定法および他の混入率のタイヤチップ固化処理土への適用性を検証していきたい。

【謝辞】本研究の一部は国土交通省建設技術開発助成（代表：安原）の研究助成を受けて行ったものである。付記して謝意を表します。

【参考文献】1) 村上ら(2005): タイヤチップ混入固化処理土のための下負荷面・損傷弾塑性モデルの構築と適用, ジオシンセティックス論文集 第20巻, pp.129-136. 2) Murakamiら(2007): An elasto-plastic constitutive model based on subloading surface concept and damage theory for cement-treated clays with tire-chips, Int. Conf. Computer S Computational & Experimental Engineering and Sciences, pp.1872-1877.