

飽和粘性土地盤の支持力解析における 引張領域の取扱い関する一考察

○山栗祐樹¹⁾・小林俊一²⁾・西藤潤³⁾・松本樹典²⁾

1)金沢大学 大学院自然科学研究科 2) 金沢大学 理工研究域 3)京都大学 大学院工学研究科



金沢大学
KANAZAWA
UNIVERSITY

本研究の背景

【浅い基礎の支持力理論】

- 金属塑性論に基づくPrandtlの解を粘性土地盤上の浅い基礎の支持力問題に適用し、極限支持力を評価。
- 飽和粘性土地盤のような $\phi = 0$ 材料では、平均応力が引張領域であっても、モデル上は破壊挙動に影響を及ぼさない。

【地盤材料の強度測定】

- 金属材料は引張領域で強度を測定、地盤材料は圧縮領域で強度を測定し、引張領域での強度特性は不明な点が多い。
- また、材料の不均一性に起因するバラツキが多く、マクロ的な物性値としての信頼性も低い。

本研究の目的

これまでに引張領域の有無が支持力解に与える影響に関する議論は見当たらない。

⇒著者らが開発した混合型剛塑性有限要素法¹⁾を利用し、引張領域の有無と極限支持力の関係について調査することを目的とする。

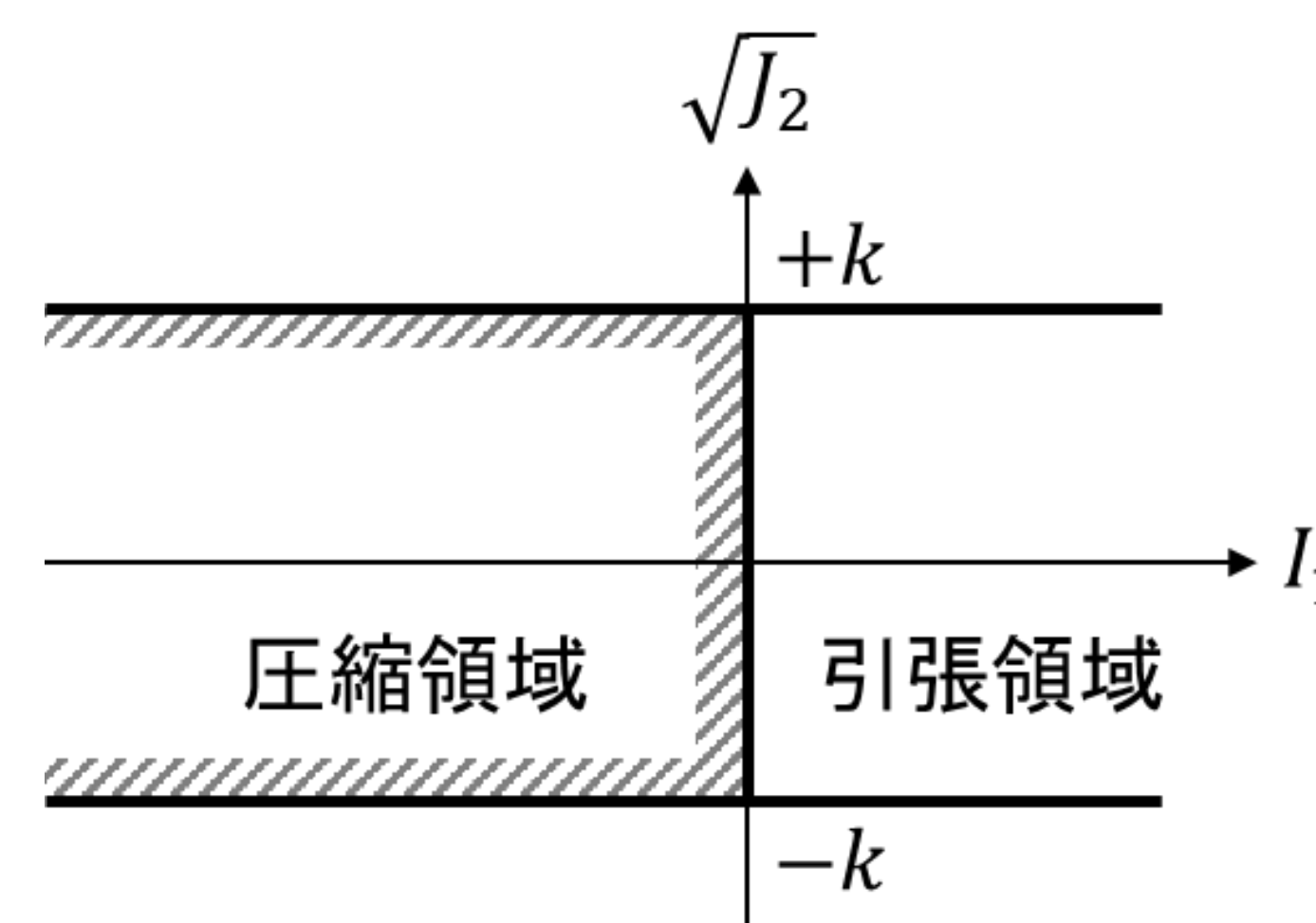
混合型剛塑性有限要素法の定式化

下界法とは力の釣合い式と降伏条件を満足し、荷重係数 α が最大となる応力場 σ を求める方法。

最終的に以下の非線形最適化問題へと帰着する。さらに本研究では、地盤材料における引張領域の影響を検討するために応力テンソルの第1不変量 I_1 に対する不等式制約を導入した。

$$\begin{aligned} & \max_{\sigma, \alpha, p} \alpha && \text{【荷重係数}\alpha\text{の最大化】} \\ \text{s. t. } & \begin{cases} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma} = \alpha \boldsymbol{\Gamma}_0 + \boldsymbol{\Gamma}_c + \mathbf{D}_d^T \mathbf{p} & \text{【力の釣合い式】} \\ f_i(\boldsymbol{\sigma}_i) \leq 0, \forall i \in V & \text{【降伏条件】} \\ (I_1)_i \leq 0, \forall i \in V & \text{【}I_1\text{の制約】} \end{cases} \end{aligned}$$

α : 荷重係数
 σ : 応力場 (引張が正)
 p : ディリクレ境界上の反力
 Γ_0 : 基準荷重
 Γ_c : 一定荷重
 $f(\sigma)$: 降伏関数 (本研究ではvon Misesモデル)
 I_1 : 応力テンソルの第1不変量



$I_1 \leq 0$ を導入したvon Misesモデル

2次元浅い基礎の支持力解析を例にした数値実験

【数値実験条件】

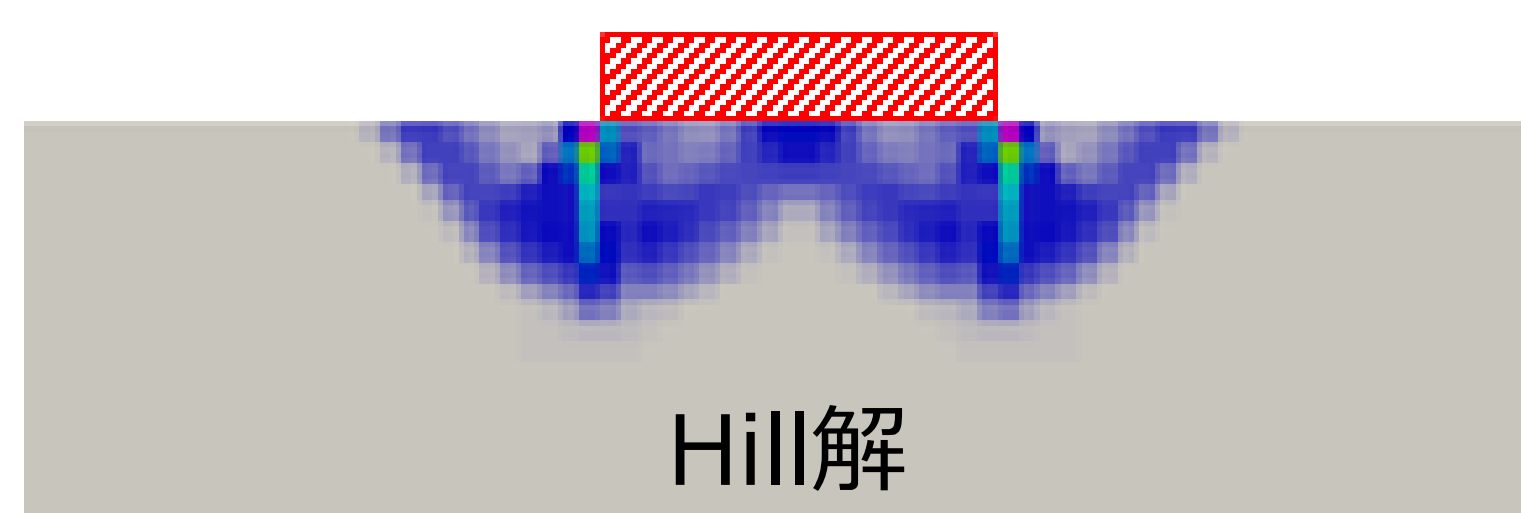
自重の影響を無視できる飽和粘性土地盤を想定。

- 材料パラメータ (von Misesモデル) : 非排水せん断強度 $c_u = 10$ [kPa], 内部摩擦角 $\phi = 0^\circ$
- 剛で滑らかな基礎

【数値実験結果 (鉛直载荷の場合)】

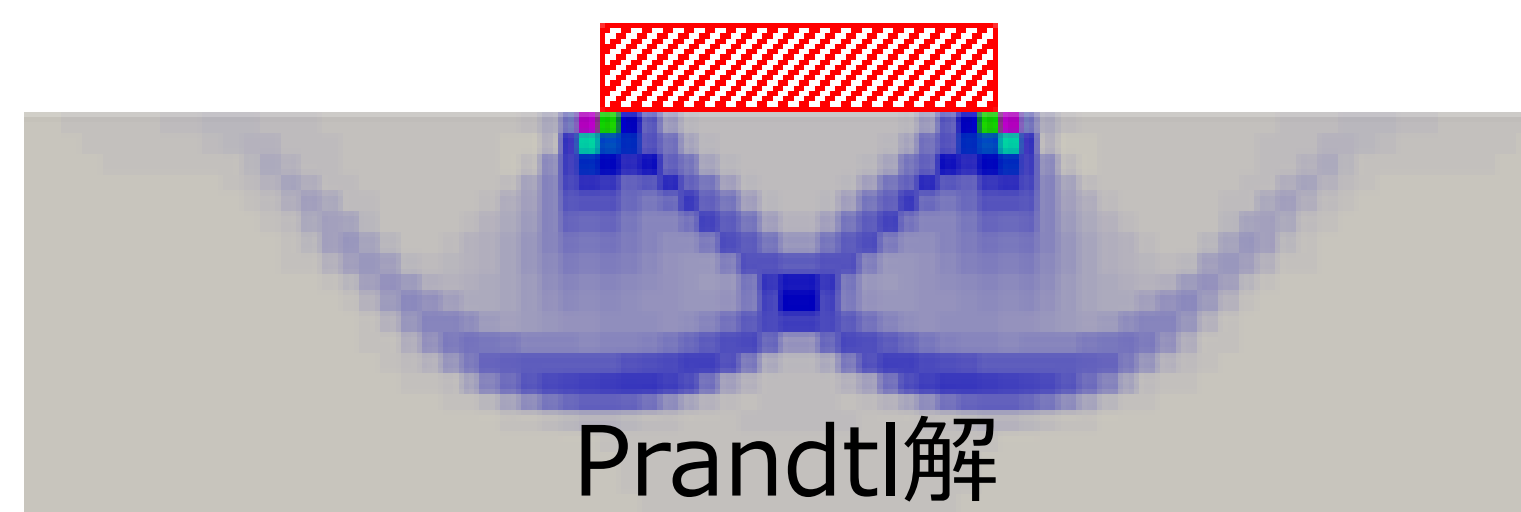
相当塑性ひずみ速度分布

引張領域あり
(I_1 の制約なし)



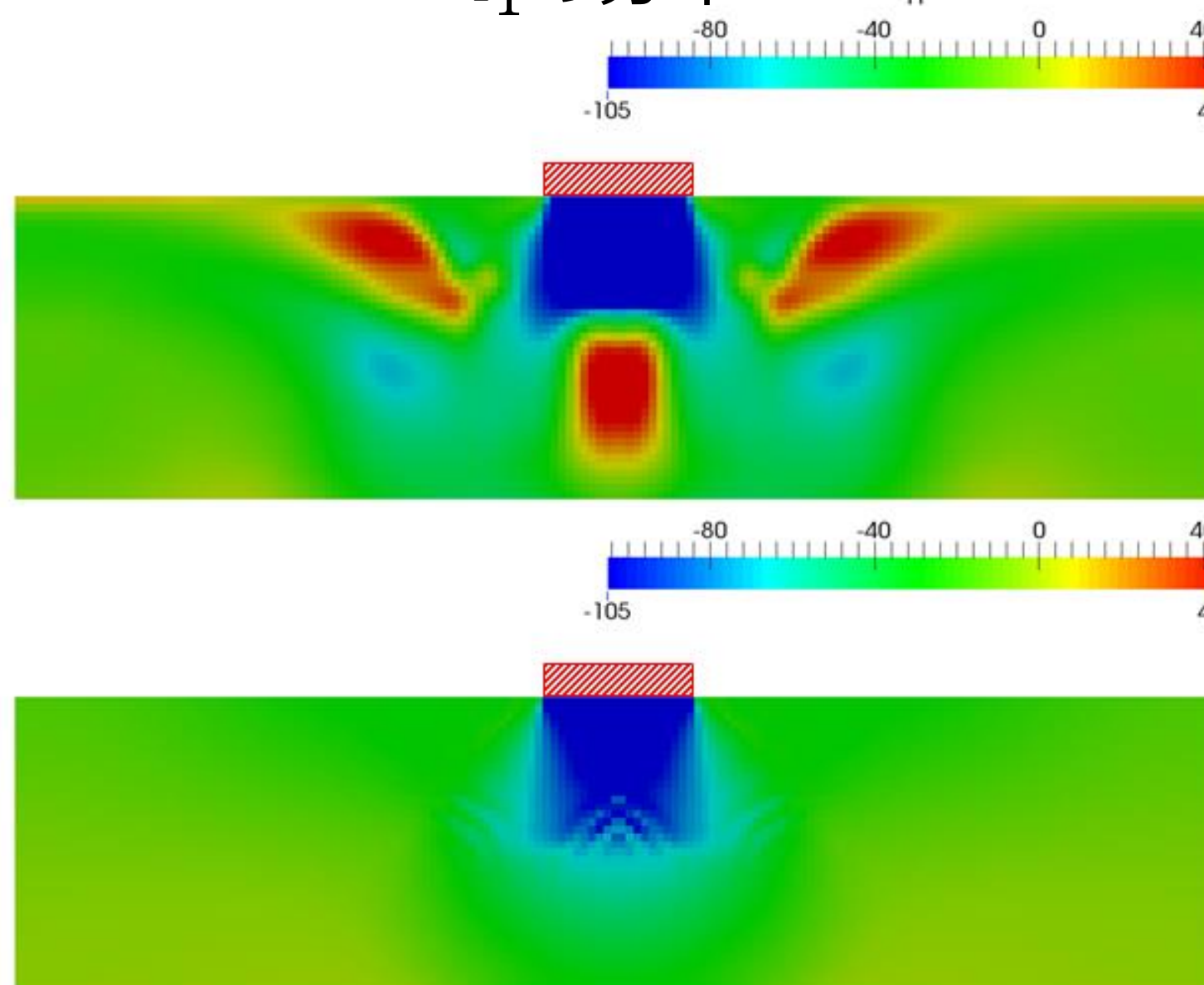
Hill解

引張領域なし
(I_1 の制約あり)



Prandtl解

I_1 の分布



支持力係数 N_c

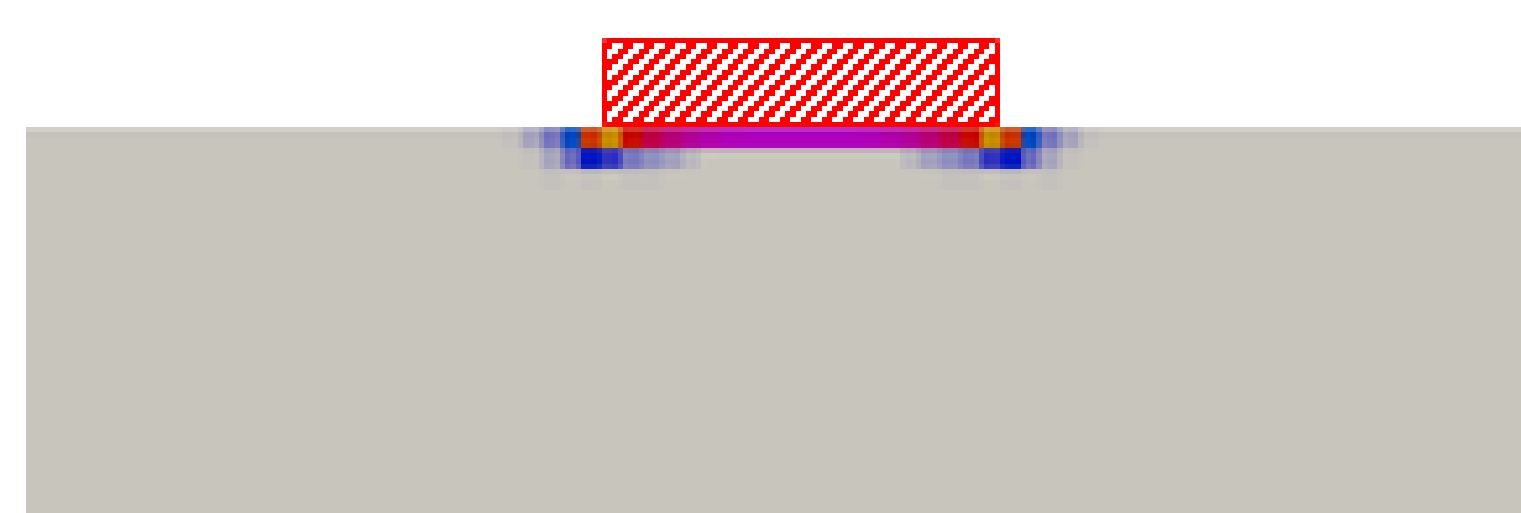
without $I_1 \leq 0$	with $I_1 \leq 0$	Cox 1962
5.479 (+6.6%)	5.235 (+1.8%)	5.142

- ✓ 引張領域の有無によって異なる2つの崩壊メカニズムが得られた。
- ✓ I_1 の制約なし：基礎直下および周辺に I_1 の意味で引張領域が現れる。
- ✓ $\phi = 0$ 材料では引張強度が期待できないため、 I_1 の制約を課したPrandtl解が出現すると考えるのが妥当。

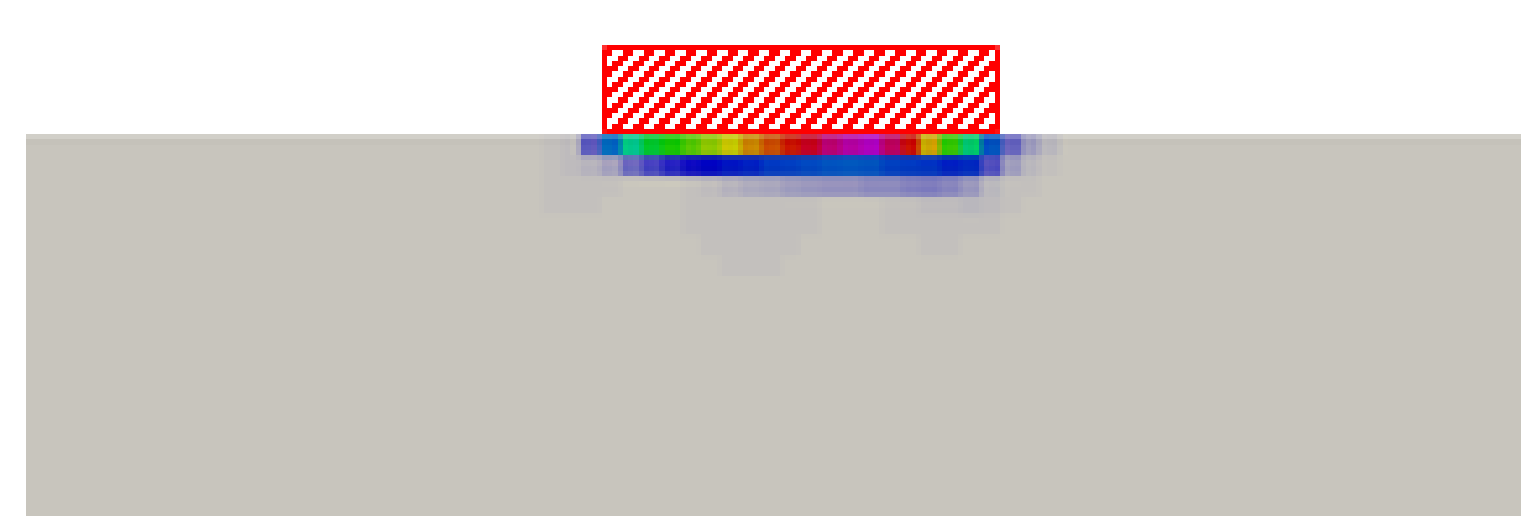
【数値実験結果 (水平载荷の場合)】

相当塑性ひずみ速度分布

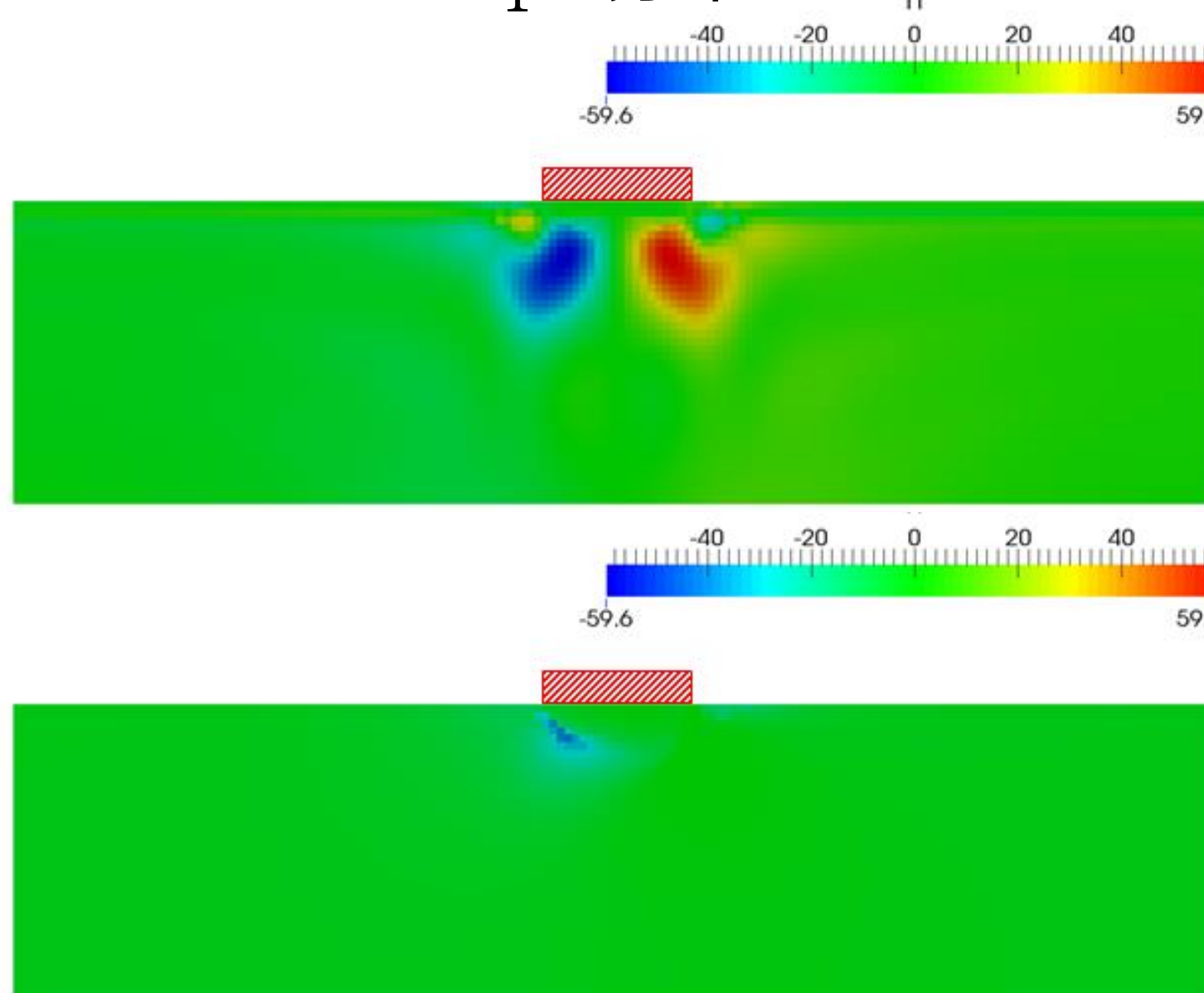
引張領域あり
(I_1 の制約なし)



引張領域なし
(I_1 の制約あり)



I_1 の分布



水平極限支持力 q_u [kN/m²]

without $I_1 \leq 0$	with $I_1 \leq 0$	Exact solution
11.452 (+14.5%)	10.090 (+0.9%)	10

- ✓ 引張領域の有無に依らず水平方向に移動する破壊モードが得られた。
- ✓ I_1 の制約なし：基礎の右下周辺において I_1 の意味で引張領域が現れる。
- ✓ このため、水平極限支持力を過大に評価したと考えられる。

まとめ

- 引張領域の影響を検討するために、応力テンソルの第1不変量 I_1 に対する不等式制約を導入した下界法の定式化を示した。
- 引張領域の有無によって、異なる2つの崩壊メカニズム (Hill解とPrandtl解) が得られた。
- 金属塑性論を適用すると過度な引張強度を期待する可能性があることを確認した。

参考文献：

1) S. Kobayashi : Hybrid type rigid plastic finite element analysis for bearing capacity characteristics of surface uniform loading, *Soils and Foundations*, Vol. 45, No. 2, pp. 17-27, 2005.

2) Cox, A. D.:Axially symmetric plastic deformation in soils -II -indentation of ponderable soils, *Int. J. Mechanical Sciences*, Vol.4, pp. 371-380, 1962.