

## 曲げ試験によるセメント改良土の破壊エネルギーの評価

芝浦工業大学 正会員 ○並河 努  
芝浦工業大学 非会員 深谷 健

### 1. 目的

セメント系地盤改良工法は盛土の沈下対策、構造物の基礎、液状化対策、掘削時の地盤変形抑制等、幅広い用途に用いられている。セメント改良体は柱や梁の形状で用いられることが多いが、柱や梁の形状の改良体に外力が作用した場合、曲げ変形に伴う引張応力が作用する可能性がある。セメント改良土の引張強度は一軸圧縮強さの2割程度と小さいため、曲げ引張応力が作用した場合、セメント改良体が曲げ引張破壊する可能性がある。しかしながら、セメント改良地盤全体の要求性能を考えた場合、部分的な曲げ引張破壊は許容できることが考えられ、部分的に引張応力が引張強度を超えるような条件でのセメント改良地盤の性能の評価方法が求められている。このような性能評価では、セメント改良土のピーク引張応力後の軟化挙動を表現できることが要求される。本研究では、セメント改良土のピーク引張応力後の軟化挙動に関する材料定数としての破壊エネルギー $G_f$ を曲げ試験より算定した。

### 2. 破壊エネルギー

ピーク引張応力後の軟化挙動を明らかにする手法としては、引張試験を実施しピーク引張応力後の応力-ひずみ関係を計測することが考えられるが、セメント改良土のような脆性材料の場合、直接引張試験等においてピーク引張応力後に安定して変位を制御することが難しく、応力-ひずみ関係を直接計測することが難しい。コンクリート工学では、引張破壊時に消費されるエネルギーを破壊エネルギー $G_f$ と定義し、 $G_f$ を軟化時の応力-ひずみ関係のパラメータとして用いている。コンクリートにおける $G_f$ の算定方法はRELIMより提案されており<sup>1)</sup>、本研究では、RELIMの手法によりセメント改良土の引張時の $G_f$ の評価を行う。

RELIMの提案手法では、切欠きを入れた3点曲げ試験より得られる荷重 $P$ -たわみ $\delta_v$ 関係より $G_f$ を算定する。 $P$ - $\delta_v$ 関係の模式図を図1に示す。 $P$ - $\delta_v$ 関係と横軸で囲まれた部分の面積が、破壊により消費された仕事 $W_0$ となるが、RELIMでは、供試体の自重 $mg$ も考慮した次式により $G_f$ を算定することを提案している。

$$G_f = \frac{W_0 + W_1 + W_2}{A_s} = \frac{W_0 + mg\delta_{v0}}{A_s} \quad (1)$$

ここで、 $A_s$ は供試体破断部の断面積である。本研究では、セメント改良土の曲げ試験を実施し、試験結果より(1)式を用いて $G_f$ を評価する。

### 3. 曲げ試験 試験手法

室内で作製したセメント改良土を用いて曲げ試験を実施した。配合を表1に示す。3種類の配合で試験を実施し、強度と $G_f$ の関係を調べた。表1に示す材料を10分間攪拌混合した後、モールドに投入し振動により締固を行った。その後、湿潤状態で養生し、養生7日で試験を実施した。40mm×40mm×180mm、スパン160mm(40mm供試体)、80mm×80mm×360mm、スパン320mm(80mm供試体)の2つのサイズの供試体で試験を実

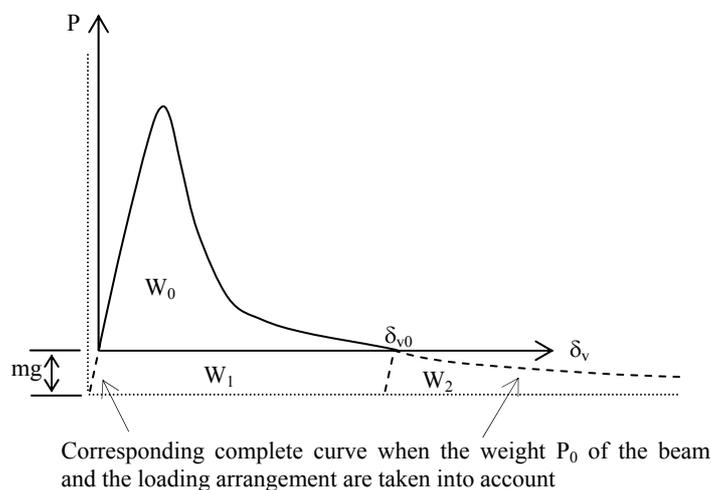


図1 荷重-たわみ関係における仕事の算定方法

キーワード セメント改良土, 曲げ試験, 破壊エネルギー

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5 芝浦工業大学 工学部土木工学科 並河努 TEL03-5859-8358

施した。切欠きなしと切欠きありの供試体で試験を実施し、切欠きなしの供試体を用いた試験結果より曲げ引張強度  $T_f$  を、切欠きありの供試体を用いた試験結果より  $G_f$  を算定する。切欠きは供試体厚さの 1/2 とし、試験前にのこぎりで作製した。曲げ試験中、荷重はロードセルで、たわみはレーザー変位計で計測した。载荷は変位制御で行い、変位速度は 0.01mm/min である。また、40mm×40mm×100mm の角柱供試体を用いて一軸圧縮試験を実施し、一軸圧縮強さ  $q_u$  と  $T_f$ 、 $G_f$  の関係を調べた。

表 1 配合 (質量比)

材料	豊浦砂	カオリン	セメント	水
S1	69.3%	5.0%	7.0%	18.7%
S2	67.9%	4.9%	8.5%	18.7%
S3	66.0%	4.8%	10.5%	18.7%

4. 曲げ試験 結果

試験で得られた荷重-たわみ関係のピーク荷重より算定した曲げ引張強度  $T_f$  と一軸圧縮強さ  $q_u$  の関係を図 2 に示す。各供試体寸法において  $T_f$  は  $q_u$  に対しほぼ比例関係にあることがわかる。図 2 の直線は 40mm 供試体結果の近似線で、傾きは 0.32 程度である。また、供試体寸法が異なると同一配合においても、 $T_f$  が異なっていることがわかる。 $T_f$  の寸法依存性に関しては曲げ試験における進行性破壊が原因と考えられており、供試体寸法が大きくなるに従い  $T_f$  が小さくなり、最終的には直接引張強度に等しくなると考えられる<sup>2)</sup>。

試験で得られた荷重-たわみ関係を用いて 2 章の手法で算定した破壊エネルギー  $G_f$  と  $q_u$  の関係を図 3 に示す。 $q_u$  の増加に伴い、 $G_f$  は増加していることがわかる。また、供試体寸法が異なると同一配合においても、寸法の増加に伴い、 $G_f$  が増加していることがわかる。 $G_f$  の寸法依存性に関してはコンクリートでも報告されており<sup>3)</sup>、(1)式を用いた  $G_f$  の算定方法の見直しを含め寸法効果に関しては今後検討する必要がある。

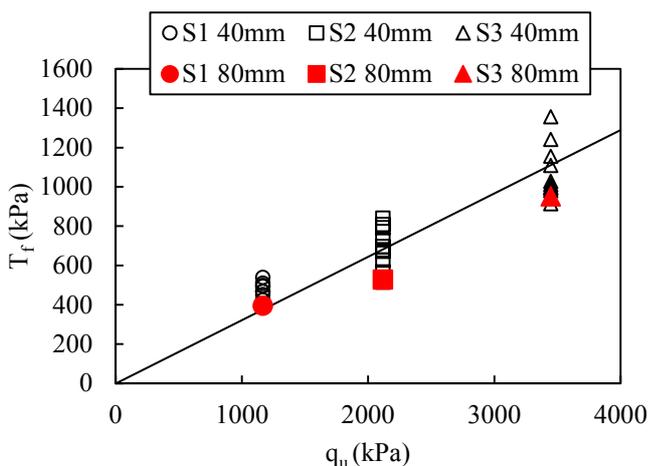


図 2 曲げ引張強度  $T_f$  と一軸圧縮強さ  $q_u$  の関係

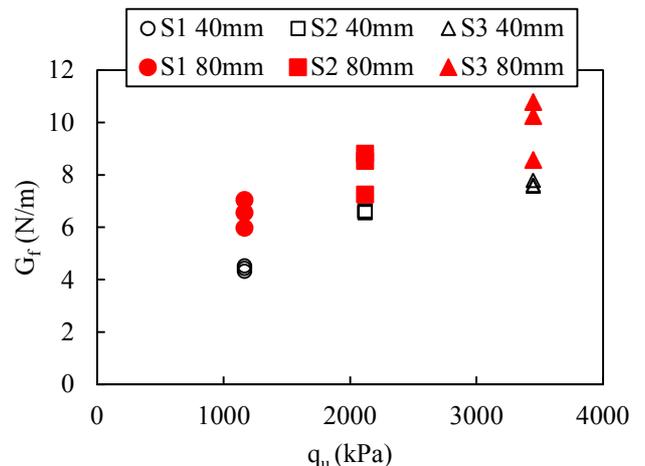


図 3 破壊エネルギー  $G_f$  と一軸圧縮強さ  $q_u$  の関係

5. まとめ

セメント改良土の 3 点曲げ試験を実施し、ピーク引張応力後の軟化挙動に関係する材料定数としての破壊エネルギー  $G_f$  を算定した。試験結果より、 $G_f$  は一軸圧縮強さ  $q_u$  に伴い増加することが明らかとなった。また、供試体寸法が  $G_f$  に与える影響も認められた。 $G_f$  における寸法効果に関しては、 $G_f$  の算定方法の見直しも含め今後研究を実施する必要がある。

参考文献

- 1) Hillerborg A. (1985) The theoretical basis of a method to determine the fracture energy  $G_f$  of concrete. *Materials and Structures*, Vol. 18, No. 106, 291-296.
- 2) Namikawa T., Koseki J. (2009) Size effect on bending strength of cement-treated soils. *Deep Mixing 2009 Okinawa*, CD-ROM.
- 3) Hillerborg A. (1985) Results of three comparative test series for determining the fracture energy  $G_f$  of concrete. *Materials and Structures*, Vol. 18, No. 107, 407-412.