金網を用いた法面工の法面工低減係数に関する一考察

日鉄建材（株）　正会員　○石垣拓也　正会員　國領ひろし　正会員　岩佐直人
東京都市大学大学院　正会員　伊藤和也、学生会員　佐野和弥
東京都市大学（現　株式会社フジタ）　田中直希

１．はじめに

法面工低減係数μ（以下、μと称する）は，地山補強土工法の設計で用いられる法面工のタイプによって変わる係数である．従来から多く用いられている法枠工などについては，**表-1** に示すような法面工タイプと低減係数の目安 [1] に従って値が採用されている．近年では環境や景観への配慮から金網やワイヤーロープなどを併用した工法も多くなってきており，このような法面工については，過去の論文や模型実験などを参考に，μ=0.7 程度としているものが多い．しかし，実大サイズでμが算定された報告は少なく，実際の値も明らかになっていない．

そこで，本研究では金網を法面工として用いた地山補強土工に着目し，実大スケールで載荷実験を行い，μの算出を試みた．

表-1　法面工タイプと低減係数μの目安 [1]

のり面保護工タイプ	μ	備考
植生工のり面	0	
コンクリート吹付工	0.2～0.6	
のり枠工	0.7～1.0	
擁壁類	1.0	連続した板タイプのり面工

表-2　金網仕様

試験体No.	素線引張強度	素線径	目合い
金網試験体-1	600N/㎟	φ3.2mm	50×50mm
金網試験体-2	700N/㎟	φ3.2mm	50×50mm

２．実大実験概要

地山補強土工法の法面工として用いられる金網は，素線径がφ3.2mm 前後のひし形金網が多く，また，素線引張強度の高い特殊な線材で製網されているものがほとんどである．

実験で用いた金網の仕様を**表-2** に示す．本研究では，市場で入手可能な一般的な金網（JIS G 3547　SWMGH-3 相当/素線引張強度：540～830N/㎟の範囲の 2 種類）を用いた．

図-1 に載荷実験の概要を示す．載荷実験は内寸が 2×2×深さ 1m の土層で模型地盤を作製し，地盤表面に金網試験体を敷き，その上に支圧板（□300×300×t12 mm，補強リブ付き）を設置して油圧ジャッキで載荷を行った．地盤は含水比 10%に調整した真砂土を，湿潤密度 2.0t/㎥（N 値 10 程度）となるように締め固めて作製した．土層中心には載荷軸、及び載荷反力として PC 鋼棒を設置した．載荷は PC 鋼棒の 0.2%耐力（494kN）を考慮し，載荷荷重約 450kN で終了とした．

図-2 に補強材の引抜き実験の概要を示す．補強材の引抜き実験は，載荷実験と同じ条件で地盤を作製し，地盤中央にφ65mm の孔を設け，補強材（D19 ロックボルト）の挿入とグラウト注入を行った．3 日間養生のち，油圧ジャッキにて引き抜いて，荷重-変位を計測した．

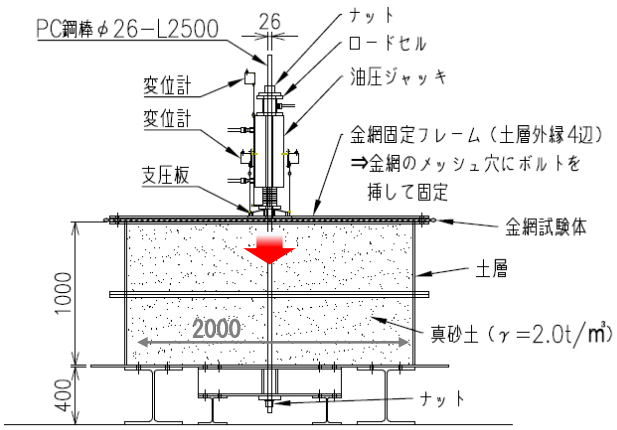

図-1　載荷実験　概要図

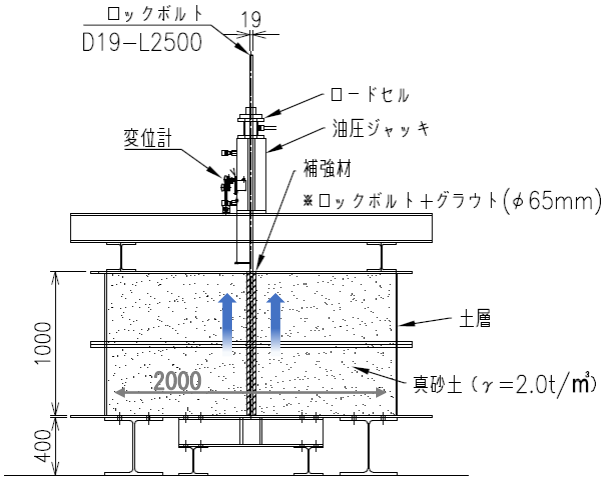

図-2　補強材の引抜き実験　概要図

キーワード　法面工低減係数，地山補強土工法，実大試験
連絡先　〒101-0021　東京都千代田区外神田 4-14-1　秋葉原 UDX ビル 13F　日鉄建材㈱　TEL：03-6625-6333

© Japan Society of Civil Engineers

3．実験結果

図-3 に載荷実験の荷重-変位関係を示す．まず，金網試験体-1 では載荷に伴う金網の破断は認められず，最大荷重 460kN で載荷を中断した．一方，金網試験体-2 の場合では，載荷荷重が 363kN に達した時点で，金網の素線屈曲部 1 箇所で破断が発生し，引き続き載荷をすると荷重は増加するものの，他の素線屈曲部でも破断が生じ，その度に荷重が瞬間的に低下した．

図-4 に補強材引抜き試験の荷重-変位関係を示す．これより，最大引抜き荷重は 19.7kN となり，引抜き後のグラウトの実測径（φ76mm）から周面摩擦抵抗度を算出したところ 0.08N/㎟であった．N 値 10 の砂地盤における極限周面摩擦抵抗の推定値[1] と同じであることが確認された．

4．法面工低減係数μの算出

以上の実験結果より，μ を次式から求める．

$$\mu = \frac{T_o}{T_o + T_f}$$

ここで，T_o は法面工にかかる荷重であり，載荷実験の結果から，金網試験体-1 は最大荷重（T_o=460kN），金網試験体-2 は破断発生時点の荷重（T_o=363kN）とした．T_f の値は補強材の引抜き抵抗力（周面摩擦抵抗力）であり，補強材引抜き実験結果の最大荷重値（T_f=19.7kN）とした．

これらより μ を求めると，金網試験体-1 の場合は μ=0.96，金網試験体-2 の場合は μ=0.95 となった．

一方，補強材長の違いによる周面摩擦抵抗力の増加，および支圧板直下の地盤水平応力による周面摩擦抵抗力の増加が考えられるため，文献[2] を参考に次式を用いて T_f を補正する．

$$\sigma_{x-1} = z\gamma_d K$$

$$\sigma_{x-2} = \frac{2q}{\pi}\left[\tan^{-1}\frac{B^2}{4z\sqrt{\frac{1}{2}B^2+z^2}} - \frac{B^2}{4\left(z^2+\left(\frac{B}{2}\right)^2\right)\sqrt{\frac{1}{2}B^2+z^2}}\right]$$

$$T_f = \pi D \tan\phi\left(\int_0^L \sigma_{x-1}\,dz + \int_0^L \sigma_{x-2}\,dz\right)$$

ここで，σ_{x-1} は地盤の自重により補強材が周辺地盤から受ける水平応力，σ_{x-2} は支圧板から地盤に伝わる荷重による水平応力増分であり．表-3 に補正に用いた定数を示す．図-5 に，補正した T_f から再度求めた μ 値と載荷荷重の関係を示す．図-5 より，載荷実験で求めた T_o 時の μ を読み取ると，補強材長が 1～5m のいずれの場合も，μ=0.7 以上となることがわかる．

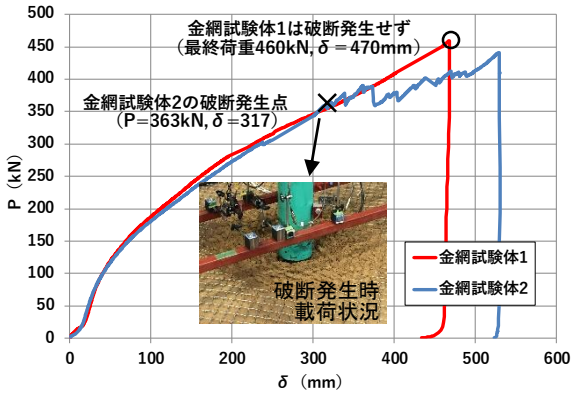

図-3　荷重-変位関係（載荷実験）

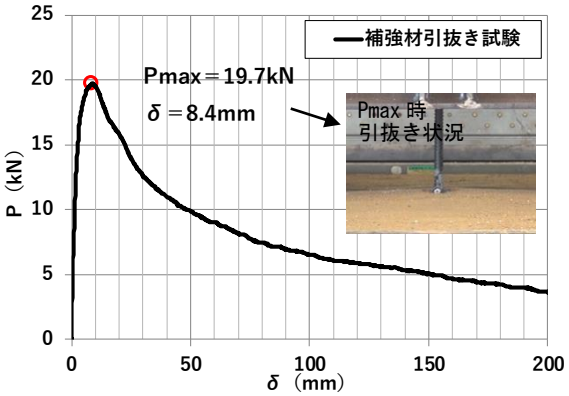

図-4　荷重-変位関係（補強材の引抜き試験）

表-3　T_f の補正計算に用いる定数

項目		単位	備考
地盤深さ	z	m	
地盤の単位体積重量	γd	kN/㎥	γd=19.6 kN/㎥（2.0 t/㎥）
土圧係数	K	—	$K = \frac{T_f/\pi D - \int_0^L (c)\,dz}{\int_0^L (z\gamma_d \tan\phi)\,dz} = 2.0$～$10.1$ ※補強材引抜き試験結果のTfを用いて逆算
地盤の内部摩擦角	φ	°	φ＝39.8°　※三軸圧縮試験にて算定
地盤の粘着力	c	kN/㎡	C=0 kN/㎡　※三軸圧縮試験にて算定
支圧板による圧力	q	kN/㎡	q=P/B^2　※P（載荷荷重）＝0～460kN
支圧板幅	B	m	B=0.3 m
グラウト直径	D	m	D=0.076 m
補強材長	L	m	L=1～5 m

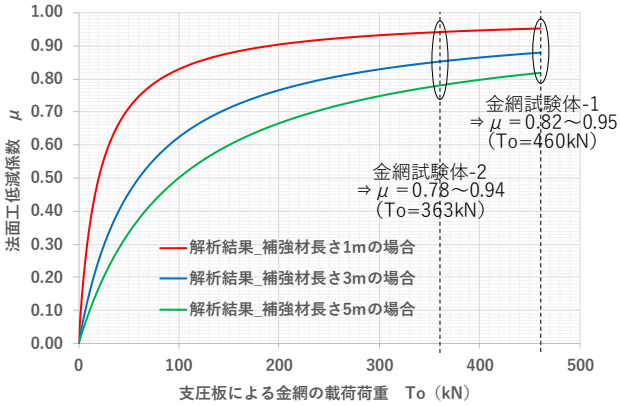

図-5　法面工低減係数μの算定結果

5．まとめ

本研究では，実大スケールでの載荷実験を行い，金網を法面工とした場合の μ の検討を行った．その結果，法面工（金網）にかかる荷重が増加すると μ の値も増加して 1.0 に収束する傾向が確認でき，本実験で用いた金網仕様では，安全側を考慮すると μ=0.7 程度を用いることが適当であると考えられる．

参考文献
1）東日本・中日本・西日本高速道路株式会社：切土補強土工法設計・施工要領
2）中本詩瑶（2017）：支圧板付きロックボルト補強斜面の変形・破壊メカニズムと補強効果に関する基礎的研究，東京工業大学博士論文

© Japan Society of Civil Engineers