

III-361 地盤補強に関する遠心載荷模型実験(その2)

—有限要素法によるシミュレーション—

(株)青木建設 研究所 正会員 中井 茂喜
 建設省 土木研究所 正会員 小野 寺誠一
 (株)青木建設 研究所 江部 利信
 同 上 正会員 國村 省吾

1. はじめに

本報(その2)では、有限要素法を用いて、(その1)¹⁾で報告した遠心載荷模型実験をシミュレートして実験結果と比較した。ボルト及びアンカー併用工法は、ボルトにより地盤を一体化(擬似壁体を形成)してその擬似壁体をアンカーで留める工法である。そのメカニズムは、ボルトの挿入によりその近傍の土を拘束して応力解放を抑え、塑性化しない領域(擬似壁体)をつくり、アンカーの支点効果により擬似壁体が大いなる背後の土圧に耐えられるようになるということである。解析結果から併用工法の有効性を確認する。また、有限要素法で、実験と同様な供試体崩壊という極限状態の再現性を検討した。

2. 解析方法

解析方法は、有限要素法(FEM)により2次元平面ひずみ状態で弾塑性解析を行った。最初のステップで自重解析により初期応力状態を算定し、次ステップより自重を徐々に増加させ、実験の最終遠心加速度まで解析した。ここで、自重のn倍をnGと表した。また、解法としてストレス・トランスファ法を使用し、各増分荷重毎に反復計算を行った。解析に用いた地盤の単位体積重量(γ)は、実験での模型地盤重量の測定結果よりその平均値とした。地盤のモデル化は、等方均質とし、塑性の判定はDrucker-Pragerの降伏条件に従うものとした。次に、ボルト及びアンカーのモデルは、棒要素とした。そして、地盤と補強材の接合は厚さ0のジョイント要素を組み入れた。ジョイント要素の水平剛性(k_s)は、弾性状態においては地盤と補強材の接合がよく変形はほとんどないと考えて十分大きな値とした。ジョイント要素のせん断応力が降伏せん断応力に達した後は $k_s = 0$ としてすべりを考慮した。垂直剛性(k_n)はジョイント要素の厚さが無視できるように十分大きな値とした。表-1に入力物性値を示した。

表-1 入力物性値

地盤	変形係数	500.0	kgf/cm ²
	ポアソン比	0.3	
	単位体積重量	1.7×10^{-3}	kgf/cm ³
	せん断強度	0.1	kgf/cm ²
盤	せん断抵抗角	35.0	°
アンカー	弾性係数	2.1×10^6	kgf/cm ²
	断面積	7.9×10^{-3}	cm ²
ボルト	弾性係数	2.1×10^6	kgf/cm ²
	断面積	1.1×10^{-3}	cm ²

3. 解析結果

図-1~11に塑性領域を示した。図にはボルト及びアンカーの位置を示した。Case-2は30Gから35G、Case-3は80Gから85G、Case-4は90Gから95Gにした場合に計算が収束しなかった。計算が収束しなかったことは、破壊域が広汎に広がったことを示す。ここで収束判定の為の許容誤差を大きくして再計算した。したがって、実験結果と同様に解析結果から、Case-2は30~35G、Case-3は80~85G、Case-4は90~95Gの間で崩壊する可能性があると考えられる。また、同じ配置パターンでは、ボルトの長い方が擬似壁体の耐力は高いと考えられる。しかし、ボルトのみの補強では自立させられる擬似壁体の高さに限界があると思われる。次にCase-2の経時変化を見ると、図-1(20G)ではボルト挿入位置は塑性化していないが、ボルト端部から塑性領域となった。加

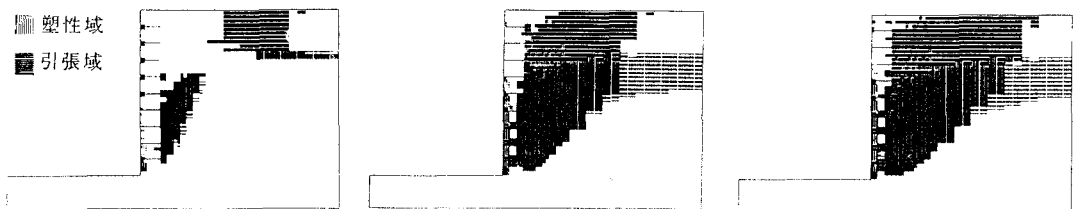


図-1 Case-2 20G

図-2 Case-2 30G

図-3 Case-2 35G

速度 20Gでは擬似壁体が保持できている。しかし、加速度が増加するにつれて図-2(30G)では塑性化が進行し右上方と擬似壁体内にも広がった。図-3(35G)ではボルト端部(擬似壁体背後)に引張破壊域が生じた。これにより破壊の進行状況が分かった。Case-2,3,4の最終加速度(図-3,4,5)では、擬似壁体内にかなり多くの塑性領域が広がった。そのうえ、ボルト端部は引張破壊域となっており、Case-2,3の方がCase-4と比べて下段にまで広がった。このことより、擬似壁体下部で圧縮破壊が起こりその影響で上部に引張破壊が生じると考えられる。Case-5は、配置パターンとボルト長さが同じCase-2が崩壊した35G(図-6)では擬似壁体は保持できている。それは、アンカーが支点となり擬似壁体のスパンを小さくして擬似壁体の耐力を向上させているからと思われる。Case-5は実験の場合65Gで崩壊したが、解析では65G(図-7)でも計算が収束した。そのうえ擬似壁体が保持できているため、崩壊する可能性がみられない。これは実験

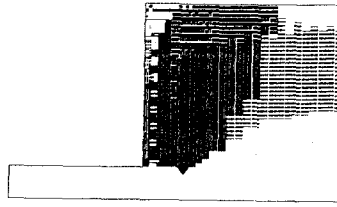


図-4 Case-3 85G

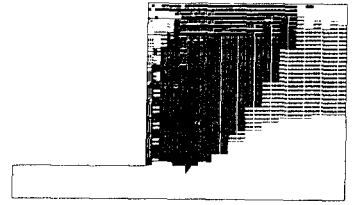


図-5 Case-4 95G

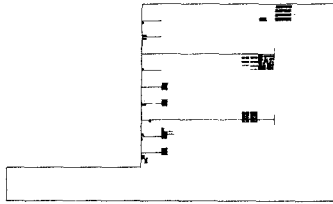


図-6 Case-5 35G

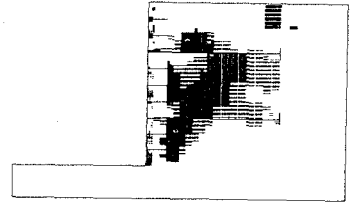


図-7 Case-5 65G



図-8 Case-6 100G

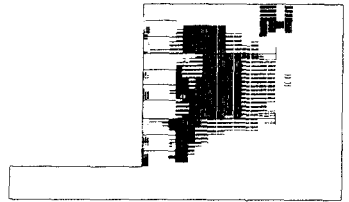


図-9 Case-7 100G

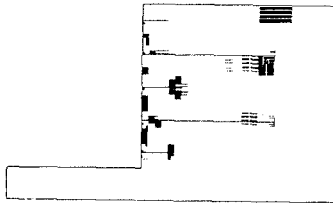


図-10 Case-11 35G



図-11 Case-11 85G

結果と異なっている。Case-6と7(図-8,9)では、擬似壁体は保持できている。Case-7の方が擬似壁体が厚い。すなわち、ボルトが長い方が擬似壁体の厚さも厚い。Case-11は、図-10(35G)では擬似壁体は保持できているが、擬似壁体表面のボルト間は塑性領域となっている。これはボルトの間隔が広いためである。図-11(85G)では、さらに擬似壁体内に塑性領域が広がった。実験では既に崩壊している85Gでも計算は収束した。しかし、擬似壁体が完全に塑性領域で分断されていることで、Case-11は実験と同様に加速度80~85Gで崩壊する可能性があると考えられる。

4. まとめ

有限要素法解析によりかなり高い精度で実験の結果を捉えられた。特にアンカーの入らないボルトのみの解析では、反復計算が収束しないことで崩壊加速度が実験と解析結果がほぼ一致した。この実験のように土質条件等材料特性が確実に掴まえられれば、解析によってある程度高い精度で実際の現象を予測することができるということが分かった。しかし、今回の実験では無重力(実際は1G)状態でボルト及びアンカーを配置した後に遠心载荷しているため、補強材の効果が理想的に発揮される。一方、実際の切土斜面や空洞の補強は部分的に応力を解放しながらボルトを挿入する工法のため、設計に当たっては注意する必要がある。

《参考文献》1) 國村, 小野寺, 江部他: 地盤補強に関する遠心载荷実験(その1), 第46回土木学会年講, III部門