

## 抗土圧構造物の設計理論と実際

## —擁壁の変形と土圧・破壊メカニズムに関する一考察—

Theory and Practice in Designing Earth-Retaining Structures

八嶋 厚 (やしま あつし)  
岐阜大学教授 地域共同研究センター塚本 良道 (つかもと よしみち)  
東京理科大学講師 理工学部張 鋒 (ちょう ほう)  
岐阜大学助教授 流域圏科学研究センター

## 1. はじめに

抗土圧構造物として代表的な擁壁には、石積・ブロック積などの古くから用いられている工法や、種々の形状を有するコンクリート擁壁など、さまざまなタイプのものが存在する。擁壁に作用する主な荷重は土圧と擁壁自体の重量である。水圧は背面に裏込め材と水抜き孔を配置して浸透水が貯まらないようにするため考慮されることが多い。擁壁の安定計算には、土圧にクーロン主動土圧が用いられ、転倒、滑動、支持力などについて照査される。

通常の擁壁設計ではクーロンの主動土圧を用いるが、果たして擁壁の様々な変形パターンのもとで、単純なクーロンの主動土圧は常に発揮されるのであろうか。本報文では、まず擁壁の変形パターンが擁壁に作用する土圧分布とどのように関連しているかを、Nakai<sup>1)</sup>の研究成果をもとに考察する。ついで、補強土擁壁に関する最近の話題を紹介する。

## 2. 擁壁の変形パターンと土圧・破壊メカニズム

古典土質力学では、擁壁に作用する土圧を考慮する際、擁壁の変形を考慮せず、単に地盤の極限状態での力の釣合いから土圧を求める。しかし周知のように、擁壁背面地盤の土圧の発生形態は擁壁の変形に強く依存する。また、擁壁と背面地盤との間の摩擦、地盤と擁壁の剛性の相対的な差なども影響を与える。

擁壁・背面地盤の変形・土圧・破壊メカニズムを適切に評価する場合は、地盤の力学挙動の非線形特性を適切に考慮する必要がある。特に、補強材を土中に設置した補強土擁壁の場合はその破壊メカニズムがさらに複雑になり、これを古典土質力学の手法で解明することが不可能に近い。

幸いに、最近の地盤材料の構成式に関する研究と数値解析手法の発展により、このような問題が解決できるようになりつつある。Nakai<sup>1)</sup>はSMP破壊規準に基づいた有限要素解析を実施し、擁壁の変形パターンおよび擁壁と背面地盤との摩擦の影響による主動・受働土圧の変化、地盤の破壊形態を調べている。

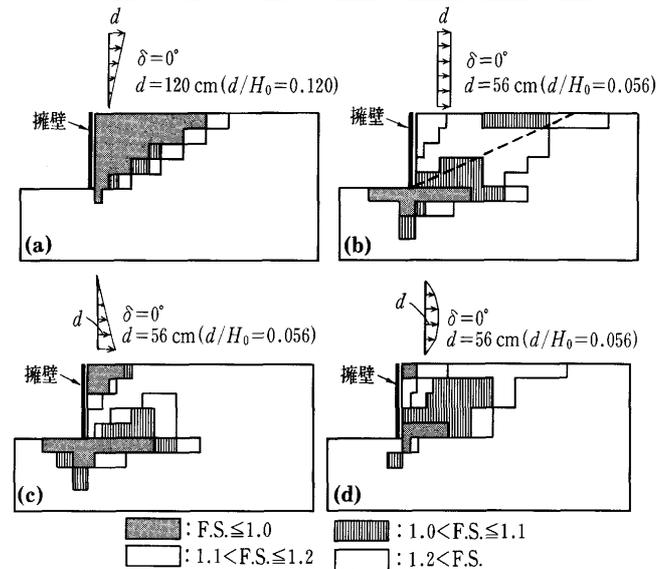


図-1 主動土圧状態で異なる土留め壁の変形における安全率分布 (擁壁と背面地盤の間に摩擦がない場合)<sup>1)</sup>

図-1に擁壁と背面地盤の間に摩擦がない場合について、主動状態における地盤の安全率分布を示す。想定した擁壁の変形パターンは図-1に示すように4種類であるが、上部が大きく移動する転倒モードにおいて、ランキンの主動破壊が再現されている。一方、擁壁が水平移動(滑動)する変形モードにおいては、クーロンの想定したすべり面が再現されている。その他の変形モード(擁壁の足元が移動するモードおよび比較的柔な擁壁で想定される変形モード)については、ランキンおよびクーロンの理論から求められる破壊メカニズムとは異なった安全率分布となっている。

図-2には、やはり擁壁と背面地盤との間に摩擦がない場合について、擁壁の変形が進行する場合の土圧分布を示す。図中の $K_0$ 線は、静止土圧係数を0.45としたもので、 $K_A$ 線は地盤の内部摩擦角を $40^\circ$ とした場合のランキンの主動土圧分布である。図-2(a),(b)に示した土圧分布は、Terzaghi<sup>2)</sup>や山口<sup>3)</sup>が示した土圧分布とよく対応している。一方、図-2(c),(d)に示した土圧分布では、擁壁の上部および下部で大きな土圧が発生しており、ランキン土圧の仮定が成り立たないことを物語っている。

ところで、擁壁と背面地盤の間に摩擦がある場合の主

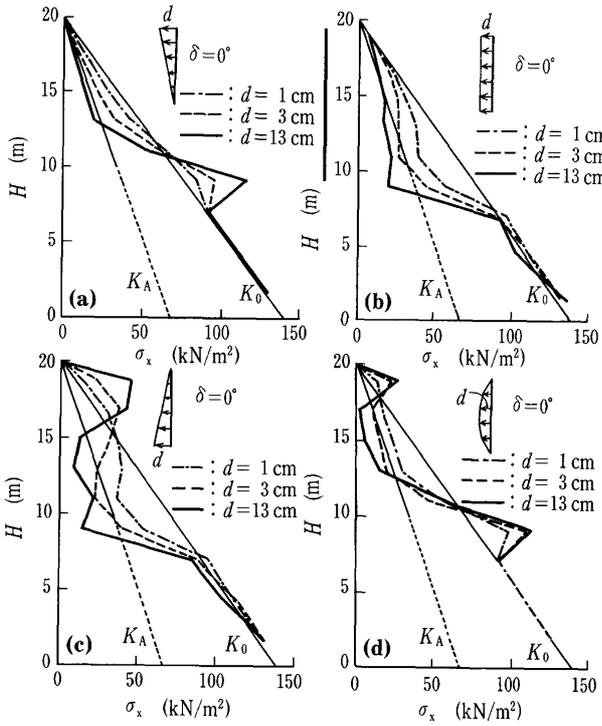


図-2 摩擦がない状態で異なる土留め壁の変形における主働土圧の分布<sup>1)</sup>

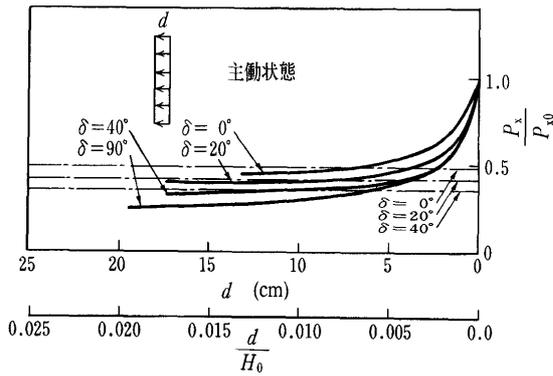


図-3 異なる摩擦状態での主働土圧-変形関係<sup>1)</sup>

働土圧はどのようになるであろうか。図-3に擁壁と背面地盤の間の摩擦角を変化させた場合の、擁壁に作用する全土圧を示した。図中の鎖線は地盤の内部摩擦角を40°とした場合のクーロンの主働土圧である。クーロンの主働土圧では擁壁の変形は考慮されていないので、擁壁の水平移動量（横軸）に関係なく主働土圧の値は常に一定である。一方、数値解析から得られる主働土圧は、擁壁の移動に伴って徐々に低下し、クーロンの主働土圧よりも小さな値に収束していくことがわかる。これは、中間主応力の影響によるものと考えられる。

これらの図-3より、擁壁の設計に用いられる主働土圧は、擁壁の変形パターン、変形量、擁壁と背面地盤との間の摩擦によって異なり、従来のクーロン土圧やランキン土圧では説明できない土圧分布や全土圧が発生する可能性があることがわかる。

### 3. 補強土擁壁の変形・破壊メカニズム

補強土壁工法に関しては、さまざまな手法・地盤材料を用いた新しい試みがなされてきているが<sup>4)</sup>、本節では

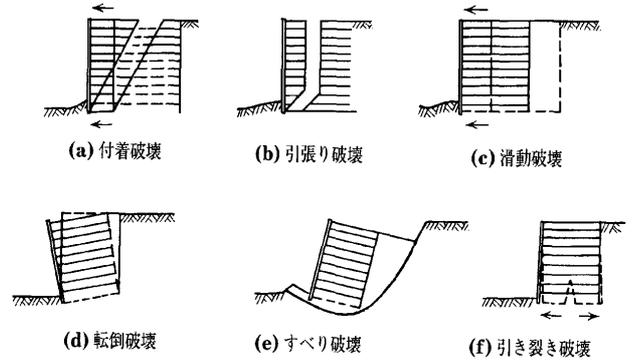


図-4 補強土擁壁の破壊メカニズム<sup>5)</sup>

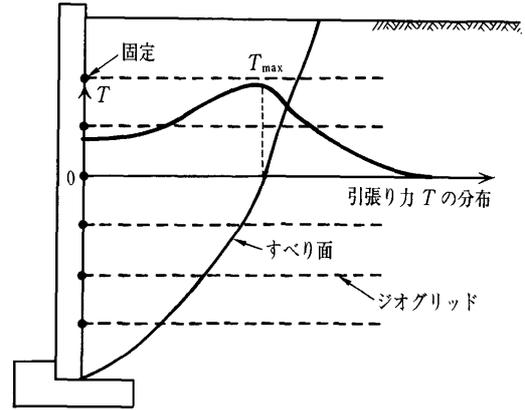
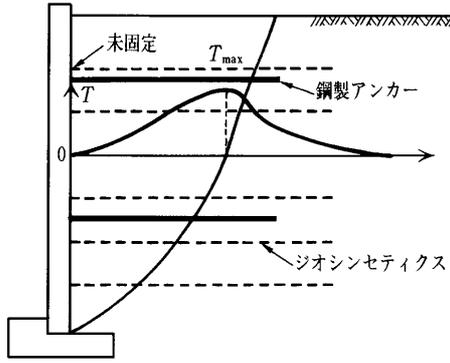


図-5 ジオシンセティック補強材を壁面材に固定した補強土擁壁の補強概念

補強土擁壁の変形・破壊メカニズムに関する一考察として、延伸性をもつジオシンセティック補強材により補強された裏込め土を有する壁面構造物の安定性に特に着目して記述してみたい。一般には、図-4に示すようにさまざまな破壊形態<sup>5)</sup>が考えられるが、ここでは補強領域内部で発生する引っ張り破壊について考察することにする。

補強土擁壁に用いられる壁面構造物には、PCパネル型、RCブロック型、鋼製枠などさまざまな種類ものが用途に応じて使用されている<sup>6)</sup>。一般に、これらの壁面構造物をジオシンセティック補強材に固定して、裏込め土を補強する形式がとられる。一般に、このような補強土擁壁の安定性を検討する際には、図-5に示すようなすべり面を仮定し、すべり面背後の領域をすべりに対する抵抗域、すべり面と壁面の間に位置する領域は主働領域と仮定する。つまり、すべり面背後の抵抗域に埋設された補強材の引抜き抵抗により、補強土擁壁全体の安定性を得るという考え方である。補強材の引抜き抵抗の評価は、一般に引抜き試験により実施される。その妥当性は、裏込め土自体が主働状態に達するのに要する壁面変位は大変小さく、さらに変形が進行した破壊状態においては壁面の変位ははるかに大きくなり、すべり面背後の抵抗域に埋設された補強材は引抜き試験で見られるような大きな変位にさらされていると考えられる点にある。図-3で見たように、擁壁のさまざまな変形パターンにおいて、主働土圧に達する変形はかなり小さいことが理解できる。

図-6 MSB 補強土擁壁<sup>7)</sup>

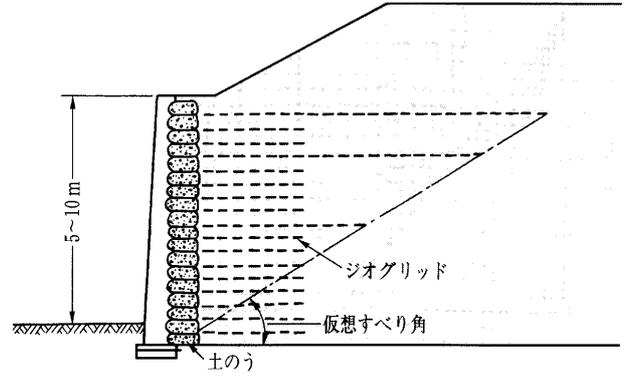
また壁面構造物の重量が大きいと、不安定性が生じた時さらに補強材の引抜きを助長させる危惧がある。つまり補強材の引抜き抵抗は、主働状態にあるすべり土塊と壁面両方の引抜きに抵抗すると考えられる。

次に、壁面構造物と補強材を固定させない形式の補強土擁壁について見てみる。近年、図-6に示すような、RCパネル型大壁面・鋼製アンカー・裏込め土・ジオシンセティクス補強材からなるMSB<sup>7)</sup>と呼ばれる補強土擁壁が提案されている。本工法では壁面と補強材は固定されず、ジオシンセティクス補強材は裏込め土の安定性を増加させる目的のみに利用されていると考えられる。室内大型模型土槽実験においても、密な裏込め砂の中に数層のジオシンセティクス補強材を埋設することにより、裏込め砂が主働状態に至る小さな変位量がジオシンセティクス補強材に作用するだけで、直立剛擁壁に作用する主働土圧が大幅に減少することが確認されている<sup>8)</sup>。本工法では、鋼製アンカーを壁面に固定し裏込め土内に貫入することにより、RCパネル大壁面の安定を得る形式をとっている。

一方、図-7に示すように、鉄道盛土・道路盛土や斜面に利用されるRRR工法<sup>9)</sup>では、裏込め土内にジオシンセティクス補強材を埋設し、さらに土のうを剛擁壁背面に配置することにより安定性の増加を図っている。土のうの安定性の機構については最近研究が進められているところであるが<sup>10)</sup>、このほかに圧縮性材料であるEPSを剛擁壁背後に設置することにより、EPSの圧縮変形量により裏込め砂が静止土圧状態から擬似的に主働状態の方向に塑性変形を起こし、静止土圧が減少することが室内大型模型土槽実験により確認されてきている<sup>11)</sup>。この圧縮性材料の剛擁壁背面への設置による土圧の減少については、発泡ビーズを利用した原位置データが示されているほか<sup>12)</sup>、この現象を数値解析により明らかにする研究が報告されてきている<sup>13)</sup>。

#### 4. おわりに

抗土圧構造物として代表的な擁壁の設計に用いられる主働土圧は、擁壁の変形パターン、変形量、擁壁と背面地盤との間の摩擦によって異なることがわかった。また、補強土擁壁は、同じ補強材や裏込め土を用いても、それぞれの固定条件や配置方法を変化させることにより、全く違う補強メカニズムを呈することが、見ていただけた

図-7 RRR 補強土擁壁<sup>10)</sup>

ものと思う。詳細な検討はしていないが、補強土擁壁の補強メカニズム、コンクリート擁壁と地盤の破壊メカニズムが、施工過程を考慮し、適切な地盤の構成則に基づいた数値解析により解明できる可能性があることを強調したい。

#### 参 考 文 献

- 1) Nakai, T.: Finite element computations for active and passive earth pressure problems of retaining wall, *Soils and Foundations*, Vol. 25, No. 3, pp. 98~112, 1985.
- 2) Terzaghi, K.: *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, 1943.
- 3) 山口柏樹: 土質力学, 技報堂出版, 1969.
- 4) 土木技術「特集: 擁壁・補強土壁工法」, 第57巻, 第2号, 土木技術社, 2002.
- 5) Jones, C. J. F. P.: *Earth reinforcement and soil structures*, Butterworths Advanced Series in Geotechnical Engineering, Butterworths, London, 1988.
- 6) Miyata, Y., Fukuda, N., Kojima, K., Konami, T. and Otani, Y.: *Design of reinforced soil wall-overview of design manuals in Japan, Geosynthetics and Earth Reinforcement, Outcome of TC9 Activities of ISSMGE (1998~2001)*, Edited by Ochiai, Otani & Miyata, 2001.
- 7) Wu, J.T.H., Helwany, M. B., Barrett, R.K.: Loading test of MSB wall-a new geosynthetic-reinforced retaining wall system, 講演資料集「ジオシンセティクス補強土擁壁の最近の施工例と設計の進展」, 東京大学生産技術研究所, 主催: 地盤工学会, 1996.
- 8) Tsukamoto, Y., Ishihara, K., Higuchi, T. and Aoki, H.: Influence of geogrid reinforcement on lateral earth pressures against model retaining walls, *Geosynthetics International*, Vol. 6, No. 3, pp. 195~218, 1999.
- 9) RRR工法協会「補強盛土工法(RRR工法)設計・施工マニュアル」, 2001.
- 10) 松岡 元: 「土のう」を活用した新しい地盤補強法」, *土木学会誌*, Vol. 87, pp. 89~92, 2002.
- 11) Tsukamoto, Y., Ishihara, K., Nakazawa, H., H. Kon, Masuo, T. and Hara, K.: Combined reinforcement by means of EPS blocks and geogrids for retaining wall structures, *Landmarks in Earth Reinforcement*, Edited by Ochiai, Otani, Yasufuku & Omine, Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement, pp. 483~487, 2001.
- 12) Partos, A.M. and Kazaniwski: Geoboard reduces lateral earth pressures, *Proceedings of Geosynthetics '87 Conference*, New Orleans, USA, pp. 628~639, 1987.
- 13) Karpurapu, R. and Bathurst, R.J.: Numerical investigation of controlled yielding of soil-retaining wall structures, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 11, pp. 115~131, 1992.

(原稿受理 2002.5.10)

土と基礎, 50-8 (535)