

土工の現状と今後の研究課題

小橋秀俊*

1. はじめに

土木研究所の土工分野の研究は、道路土工（切土及び自然斜面对策工、盛土工、軟弱地盤対策、擁壁工、カルバート工）、河川土工（堤防や樋門樋管）、下水管渠等の埋設土工などを対象に行われている。土工分野においても、土工構造物の限界状態を定義して、常時ないし地震時に確保すべき要求性能を明示し、新しい技術であってもそれを満足することを、合理的な方法で照査することにより、柔軟に新技术を適用できる方向へと進んでいる。本報文では、こうした点をふまえ、筆者が土木研究所の研究活動（技術相談、新技术評価など含め）で遭遇している土工構造物の現状と、今後進めていくべき研究課題について述べることにする。

2. 盛土について

2.1 概要

豪雨・地震による盛土の被災事例の調査結果や模型実験によると、締固め不良ないし排水不良が被災の主要因であることがわかってきた。盛土の設計には、過去の経験から安定性が確認された標準のり面勾配が適用されることが多いが、十分な締固め強度があること、基礎地盤に十分な支持力があること、浸水の影響のないことなどが前提となっている。盛土については締固め、排水、軟弱地盤対策の3点から、以下が課題と考えている。

2.2 盛土の締固め管理への対応

締固めは管理目標の設定だけでなく、それを確実に達成するための品質・施工管理の実行が大切である。盛土の品質・施工管理法は現在、砂置換法およびRI法が主流であるが、測定頻度が少なく統計的にみたデータの信頼性・客観性が不十分であること、品質管理データが即時に施工に反映されないこと等の課題がある。また、締固め不足

が起りやすいのり肩、小段、排水溝や擁壁等の構造物周辺の管理が手薄になっている。土木研究所では施工技術、先端技術、土質振動、寒地地盤チームの4チームが共同で、盛土の締固め管理の高度化の研究に取り組むこととしており、そのなかでは実行方法として情報化施工の適用の仕方も検討していくこととしている。

2.3 盛土内の排水への対応

地山から湧水の影響を受ける腹付け盛土においては、排水工により盛土内水位を低位に保つ必要がある。現在、新設盛土の排水工としては、盛土底部に敷設する砕石層、擁壁部の水抜き孔などが、既設盛土の排水機能回復技術としては、のり面に水平排水管を打設する方法などがある（写真-1、写真-2）。排水工の排水量や水位低下量は本来、盛土内の水理条件（盛土の透水性、盛土内水位や水頭など）の制約を受けるが、現状は排水効果の合理性を十分に検証しないまま、画一的な仕様の排水工が適用されている場合が多い。



写真-1 のり尻部への蛇かごの設置

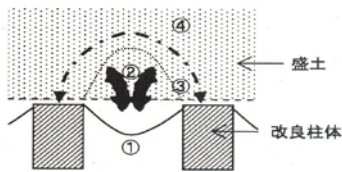
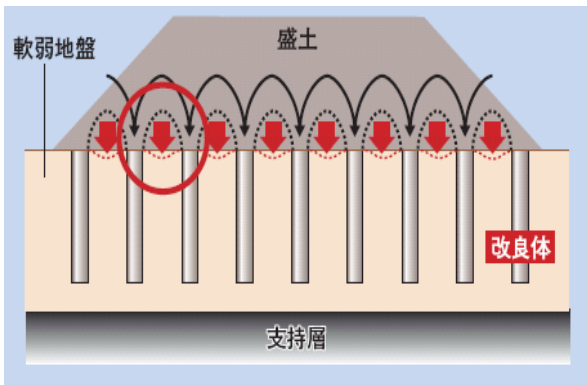


写真-2 既設盛土への水平排水孔の打設

施工技術チームにおいては、盛土内排水工の適切な設置方法（設置位置、設置延長及び奥行き、打設密度など）を決めるための研究を進めているところである。そのなかで、盛土材の選択や把握が困難な場合が多いことをふまえ、モニタリングなどで確実に把握できる盛土内水位を活用し、どのような盛土材であっても、一定程度の効果が期待できるような排水工の設置法とすることが、今後の方向性と考えている。

2.4 軟弱地盤上の盛土への対応

軟弱地盤上の盛土に関しては、低改良率工法に関する技術提案が増えているが、盛土の品質管理がより重要になっていると考えられる。低改良率化した地盤の盛土荷重の支持機構については、これまでの土木研究所の研究成果として、改良体と未改良地盤上の盛土材との間で形成されるアーチ作用が、盛土の沈下防止や安定確保に大切な役割を果たすことがわかってきた¹⁾。アーチ作用は盛土材の内部摩擦角の影響を大きく受けることから、盛土の土質や含水比との関係、締固め方法との関係、地震動に対する安定性の検証を行い、低改良率化の適用限界を明らかにする必要がある。



- ①盛土荷重により無処理地盤及び改良柱体が沈下する。
- ②盛土材も無処理地盤及び改良柱体の沈下に追従して沈下する。
- ③無処理地盤の中央ほど沈下量が大きくなり、盛土材の中でアーチ状の構造が形成される。
- ④アーチの上に存在する盛土荷重はアーチに沿って、改良柱体上に作用する。

図-1 低改良率な軟弱地盤改良におけるアーチ作用による盛土の支持機構

3. 擁壁について

3.1 概要

擁壁は一般的にコンクリート擁壁、補強土壁、その他の特殊な擁壁に大別され、コンクリート擁壁はさらに力学的特性から重力式擁壁、ブロック積擁壁、井桁組擁壁、片持ばり式擁壁、U型擁壁に分類される。特にコンクリート擁壁には慣用設計法に基づいて、滑動・転倒・支持力及び躯体の断面力を検討したり、過去の使用実績から経験的に決められた構造諸元とするなどの設計が行われてきた。しかし、近年の新技术の動向などをみると、以下の課題が出ていると考えられる。

3.2 擁壁ブロックの大型化への対応

擁壁ブロックが大型化し、従来の石積み、コンクリート積み擁壁で用いられてきた底版幅、控長、適用高さ、裏込めコンクリートなどの構造諸元を、そのまま適用できない可能性が出ている。耐震検討を省略できる高さ、ブロックの強度やブロック間の結合強度の検証などが改めて求められており、経験的に決められた構造諸元の力学的意味を理論的に把握し直しておく必要がある。

3.3 擁壁の分割化、パネル化への対応

片持ばり式擁壁などの分割化や壁面のパネル化が進んできている（写真-3）。本来、片持ばり式擁壁はたて壁が一体となって曲げに抵抗する構造体である。しかしながら、立て壁が一体構造でなくなることにより、不同沈下や地震時に接合部から損傷が進行したり、個々のパネルの破損が進行して、擁壁全体が限界状態に至るなど、従来とは異なる崩壊形態の検証が必要と考えられる。



写真-3 多分割型のL型コンクリート擁壁

3.4 補強土擁壁について

補強土擁壁は盛土そのものが擁壁躯体であること、その躯体が土と補強材で拘束された構造であること、さらに、底面反力の支持と、前面パネルと盛土との間の反力の双方により自立している特殊な土工構造物である。補強土擁壁の設計では、補強領域全体の滑動や転倒、補強領域内の補強材の強度や長さ等の内的安定検討が行われている。しかしながら、不等沈下や土圧等による壁面パネルの変形や損傷（写真-4）から、土砂の逸脱や水の侵入が発生し、補強材とパネルの連結部が腐食し切断するなどして、その後、急激に形状保持できなくなったり、安定性が急激に低下し崩壊が起こる可能性もある。補強材などの内的強度の喪失が倒壊などの擁壁全体の不安定化をもたらすとすると、慣用的設計法とは別の発想での検証理論を用意しておくことも必要である。



写真-4 補強土擁壁のパネルの変状（地震時）

3.5 特殊な裏込め材料

低品質な建設発生土の現場内利用の要請から、擁壁裏込めに改良土や各種軽量材など、固化化する材料の使用を検討する場合がある。しかしながら、全体が回転・浮上・沈下したり、ブロック化した改良域の背後のどの範囲の土圧の作用までを考慮すればよいのか、検証が必要である。

3.6 たわみ性のある壁体への対応

コンクリート擁壁は延長方向に十分な断面剛性を有していることや、破壊時の変形量が微小であることなどから、横断面内で二次元的に躯体の応力照査を行うことになっている。しかしながら、金属性部材などを連結するなどして壁体を構築する製品なども出てきており、土圧の集中などによる面的な撓みや捩れ、基礎部が不同沈下した時の

面内せん断、部材の耐久性などを評価に加えなければならないと考えられる。

4. カルバートについて

4.1 概要

カルバートは構造形式及び使用材料の観点から、剛性ボックスカルバート（場所打ちボックス、プレキャストボックス、門型）とパイプカルバート（剛性パイプ、たわみ性パイプ）に分類されており、土被りや内空断面の規模が一般的な適用範囲内であれば、慣用的に使用されてきた設計・施工法を用いることにより、常時及び地震時の所定の性能を満足できるとみなされている。しかしながら、カルバートに関しては、近年、以下のような新技術と課題が出てきている。

4.2 ボックスカルバートの大型化への対応

盛土を横断する道路等の施設が大型化し、剛性ボックスカルバートでは、一般的な適用範囲を超える大きな内空断面のカルバートが増えている。ボックスカルバートの場合、断面が大きくなっても、慣用的な設計法を準用できるものも多いと考えられるが、その範囲が明確化しておらず、今後、明らかにしていく必要がある。

4.3 分割化や特殊な構造形式への対応

多分割のプレキャスト剛性カルバートが増えているが、そのなかには継ぎ手部に回転ヒンジを使用した特殊な構造形式の製品も見られる（写真-5）。ヒンジ結合の場合、地震時に回転変位や変形が大きくなる恐れ、部分的な破壊がカルバート全体の崩壊につながる恐れ、不同沈下などでは、逆にヒンジが回転しなかったときの断面力への影響などが懸念され、従来の剛性カルバートとは異なる視点での設計法の検討が必要と考えられる。



写真-5 ヒンジ結合アーチカルバート

4.4 橋梁や開削トンネルとの設計理論の整合

カルバートを橋梁の代替物として使用する技術（両側壁を橋台に、頂版を床版に見立て、底版がないものなど）、開削トンネルをボックスカルバートとして設計している事例などが増えている。橋梁とカルバート、開削トンネルとボックスカルバートでは耐震設計の考え方が異なっており、どちらの考え方で設計しても大きな齟齬が生じないよう、境界領域において、耐震設計ほかの考え方の整合をとっていく必要がある。

4.5 特殊な設置条件への対応

軟弱地盤に対する荷重軽減策として、複数のカルバートを近接し連続的に設置するケースなども出てきている（写真-6）。しかしながら、不同沈下や地震などの際に隣接するカルバート同士の相互作用が現われる恐れ、地震時に裏込めとカルバートが一体化して挙動しない恐れがある。個々のカルバート間の裏込めとして、最低限確保しなければいけない離隔の検討が必要である。

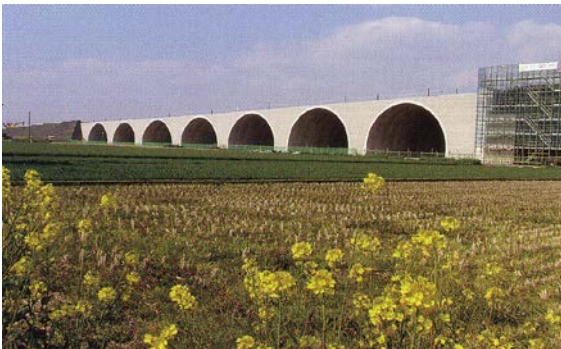


写真-6 近接し連続的に設置されたヒンジ式アーチカルバート

4.6 特殊な裏込め材への対応

土圧軽減や軽量化対策として、裏込めや埋戻しに土以外の固形化した軽量材を使用した場合、想定している土圧などの作用の仕方、地震時の応答特性、締固め管理など設計の前提条件となる施工管理方法、損傷した場合の修復性などが、従来型カルバートと異なる恐れがあり、実験などで損傷形態の確認を行う必要がある。

5. おわりに

土工構造物ごとに遭遇している課題は様々であるが、以下のような共通点が見出せると考える。

- (1)過去の使用実績などから慣用的に認められてきた設計法が前提としている事柄を理解せず、新しい技術に不用意に適用してしまうことが起こりがちである。慣用的設計法の成り立ちの経緯や適用限界を問い直して見る必要がある。
- (2)性能設計では「使用限界状態」「修復限界状態」など、土工構造物が実際に壊れる姿や進行状況をイメージしておく必要がある。新しい形式の土構造物の崩壊モードを再現する実験や、軽微な損傷から崩壊に至るまでの期間が短い崩壊モード、確率の高い進行モードなどの数値シミュレーションによる研究が必要である。
- (3)損傷の重大性（限界状態）の判断においては、土工構造物の変位や変形量の大小ばかりでなく、修復できるかどうかの判定が行えなくてはならず、復旧事例などの実態や事例を収集蓄積しておくことが重要である。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所編：地盤改良のためのALiCC工法マニュアル、鹿島出版会、2006

小橋秀俊*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所技術推進本部施工技術チーム
主席研究員、博士（工学）
Dr.Hidetoshi KOHASHI