

(株) 大林組 技術研究所 土屋 幸三郎

1. まえがき

土木分野の数多い工種のなかで土留め工事は、計測を実施する例がかなり多く、それらの報文もよく見かける。これは、土留め工事の工事例が多いこともあるが、万一、事故が生じたときの社会的被害の重大さからも納得する傾向といえよう。

最近の土留め工事は地中構造物の大型化や立地条件の制約などから深層化してきており、従来の施工技術のみでは対応しきれなくなってきた。このため、土留め工事を情報化施工で行なう機会は、今後ふえると予想され、計測を伴う工事は増加するであろう。

しかし、土留めの計測は、地盤内に増設される計器が多く再使用できる計器が少ないことや、即応性のある計測管理を行うために高性能なデータ処理システムを必要とすることからかなりの費用を要する。このため、計測データをできるだけ有効に施工に反映させる手法を早急に確立し、計測のコストパフォーマンスを高めることが肝心である。

土留め計測は、他の工種に比べればその実施例は多く、計測管理手法も除々に確立されてきていると考えられるが、現状ではまだ十分とはいえず、問題提起の意味で土留め計測管理の現状と問題点について感ずるままに述べてみた。

2. 計測の目的と意志決定

土留め計測の主目的は、計画段階での不確実性を補い工事を安全にしかも経済的に遂行することと、将来の設計・施工に役立つデータを収集することにあるが、これまでに実施された土留め計測のほとんどは、前者を主目的としている。

このような件において計測を行なうかどうかは、工事に対する種々の制約条件、築造する構造物の重要度、設計手法および設計値の妥当性などによって決まる。しかし、これらの土留め計測を実施するかどうかの決定要因には明確な判断基準がある訳ではない。したがって、実際には発注者、設計者および施工者の工事に対する不安感というような感覚的なも

ので計測の意志が決定され、また、これによって計測項目・点数・システムなど計測の規模や内容もほとんど決まるのが現状である。このように、土留め計測の目的は明確であつても計測を実施するか否か、または計測の規模や内容を決める判断基準はきわめて不明確であるといえる。

このため、実際には発注者、設計者、施工者で計測に対する意見が異なることもある。これは、各自の立場が異なるためだけでなく、各自の経験、技術力、計測に対する認識などの相違に起因していることもある。土留め工事において、計測の実施の可否、または、その計測の規模や内容を決める判断基準を標準化することは現段階では困難であり、これらを適確に判断するには、計測に対する正しい知識、およびお互いの立場を尊重した活発な意見交換が大切である。

3. 計測上の問題点

(1) 計測の精度について

土留め計測の主な計測項目は、下記に示すように多項目にわたる。

- a) 土留め壁に作用する側圧および水圧
- b) 土留め壁に発生する内部応力
- c) 土留め壁の変形
- d) 切バリ軸力および温度
- e) 掘削内部地盤の挙動および地下水位
- f) 周辺地盤の挙動および地下水位
- g) 周辺構造物および埋設物の挙動

これらの計測値の信頼性が土留め計測管理の成否の鍵となることはいうまでもない。すなわち、各計測項目の計測の精度と耐久性が非常に重要な問題となる。

計器メーカーのカタログに明記してある計器の精度は、現在市販されているどの計器もほぼフルスケールの1%以内であり、特殊な計測を除いて実用上十分といえるが、この精度はほとんどの場合、実際にはあり得ないような理想的な条件下での検定試験の結果から得られた値である。

計測の精度とは、計器を設置し計測を開始した後

に得られる物理量としての測定値の精度であり、計器自体の精度ではない。すなわち、計器、設置位置、伝送コード、測定器、およびデータ処理器などを抱括した計測システム全体の精度である。

土留め計測においては、地盤内に埋設される計器が多いので、計器の設置方法によって精度が大きく左右される。とくに、土圧の計測は計器の設置が難しく、設置方法が適切でないために信頼性のあるデータが得られない場合が多く、土圧の計測自体を否定するような風潮もある。しかし、筆者の経験では、適切な方法で土圧計を設置すれば、N値10～15程度以下の礫の混入していない比較的軟かい地盤では十分測定が可能である。

また、計測を行うときに要求される精度とは、各計測項目の現象を適確に把握するのに十分な精度といえる。したがって、単にひとつの計測項目の精度を必要以上に向上させることは、いたずらに計測に要する費用を増大させることにもなりかねない。このため、計画段階で各計測項目の精度を個々に検討するだけでなく、全体的な精度のバランスについても検討しておく必要がある。

土留め計測の計測期間は、通常、短かくて3カ月長いときには数年に及ぶ。このように計測期間が長期になると設置当初には正常に作動していた計器が徐々に異常値を示すようになったり、計測不能となることもある。不良な計器を調べてみるとその大半は絶縁抵抗が劣化している。すなわち、土留め計測では、計器は地盤内に埋設されるので高い水圧を長期間受け、伝送コードや計器の水密性が損なわれる。このように、高水圧下における長期的な水密性が計器の耐久性に関するもっとも大きな要因となるが、現実的にはこれに対する検定試験を行っている例は少ない。

以上より、計測を精度良く、確実にを行うためには今後、計器本体のハード面の開発だけではなく、計器の設置方法、および実際の使用状況に応じた検定試験の手法などソフト面を含めた総合的な開発・研究が望まれる。

(2) 初期値の設定について

土留め壁に設置する計器は、壁体の施工による影響を受ける。例えば、RC土留め壁に設置される計器は、コンクリート打設による流動圧および水和熱

の影響を受け、コンクリート打設後ある期間の測定値は大きく変動する。

図-1.1は、RC土留め壁に設置した土圧計の初期変動状況を示したものである。この図で明らかに、土圧計にはコンクリート打設により12～14 tf/m^2 の流動圧が泥水圧に加算されて作用する。したがって、計測の計画段階において土圧計の容量を決める際には、この現象を十分考慮しておく必要がある。

また、土圧計の初期値は、地中温度とほぼ同じ温度の大気中で実際に設置される姿勢にしたときの測定値を用いれば良いが、コンクリートの水和熱による温度変化の影響が多少測定値に現われるので、測定値を評価する際にはこの点に注意を要する。

図-1.2は、RC土留め壁内に設置した鉄筋計のコンクリート打設中および終了後における測定値の

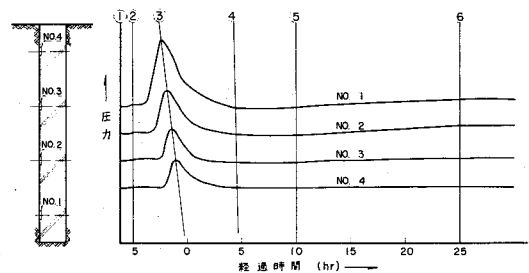


図-1.1 側圧測定値の初期変動

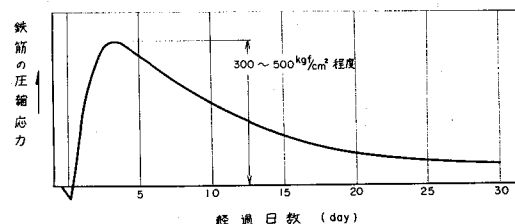
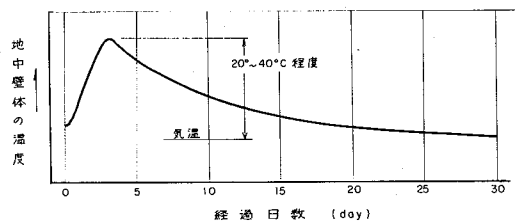
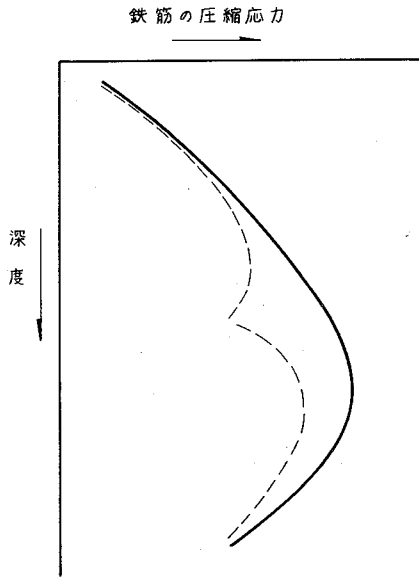


図-1.2 壁体鉄筋応力測定値の初期変動



図－1.3 鉄筋応力分布図

初期変動状況を模式的に示したものである。鉄筋応力の初期変動は、打設したコンクリートの水和熱による温度変化と密接な相関性があり、温度が上昇するにしたがって鉄筋には圧縮応力が発生する。この圧縮応力の大きさは深さによって異なり、その分布形状は図－1.3に示すように中央部で大きく、壁体の上端および下端で小さい。また、鉄筋カゴが2枚継ぎである場合には図－1.3の図中に破線で示したような分布形状となることもある。RC土留め壁の温度上昇がピークを過ぎて下降しはじめると鉄筋に発生していた圧縮応力もしだいに減少して一定値に落つく。これまでの段階では、RC土留め壁の鉄筋には圧縮応力が作用したことになるが、この応力は掘削が進むとしだいに開放されてくる。

応力測定を行なう場合の初期値として通常は掘削開始直前の測定値を用いることが多いが、このような現象を考えると、初期値の設定は非常に難しくなる。計測管理上は、この初期応力を何らかの方法で考慮することが望ましく、鉄筋カゴを泥水中に建て込んだ時点での測定値から鉄筋の自重による応力を差し引いた値を無応力の値と考え、掘削開始直前に発生している初期応力の大きさを大略把握しておくのもひとつの手法である。

本文では、RC土留め壁を例にあげて土留め計測

における初期値の設定の難しさについて述べてきたが、矢板の場合も打設もしくは圧入による異常な応力が測定値としてとらえられることもあり、今後、データを収集してこれらの問題について調査していく必要がある。

(3) 壁体曲げモーメントの評価について

土留め計測管理において壁体の曲げモーメントは重要な管理項目のひとつといえるが、これを適確に評価することは難しい。すなわち、RC土留め壁や柱列杭の場合では、曲げひずみの増大に伴ない引張側のコンクリートにはクラックが生じ、壁体の曲げ剛性は逐時変化する。このため、計測されたひずみ量から応力を算定することは容易であるが、応力から壁体の曲げモーメントの算定が難しくなる。

現行の土留め計測管理のなかには、コンクリートのクラックを考慮して応力から曲げモーメントを算定している例もあるが、この場合でもコンクリートの最大引張りひずみ（通常 $100 \sim 200 \mu$ ）や、コンクリートの弾性係数および壁体寸法などインプットデータの評価が難しい。また、前項で述べたコンクリート打設による初期応力や掘削が長期にわたる場合のコンクリートのクリープの取扱いなど不明な点も多い。

矢板の場合では、曲げ応力の増大に伴ないジョイント部のセン断抵抗が低下し剛性効率が変化する。この現象は、曲げ応力に比例した連続的なものではなく、ある応力になると突然ジョイント部のセン断抵抗が減少するような不連続な変化となる場合が多い。

以上のように、壁体の応力から曲げモーメントの算定時における種々の問題点を列挙したが、これらをすべて曲げモーメントを求めるときに考慮することは現段階では難しい。したがって、応力の実測値より求めた曲げモーメントは、これらの問題を十分認識した上で評価するとともに、今後データを数多く収集してこれらの問題を逐時解決していく必要がある。

土留め計測において経済的かつ簡便な方法として挿入式傾斜計による壁体変形の計測がある。この測定データから壁体の応力および曲げモーメントを算出し、管理に利用する場合も多い。この手法は、壁体の応力および曲げモーメントを深さ方向に連続的

に求められるという利点もあるが、傾斜角を微分して壁体の曲げ応力を求めるので土留め壁のように切バリ支点付近で応力が急変するような場合には精度上の問題が多少ある。また、微分して求めた曲げ応力から壁体の曲げモーメントの算出には、前述したものと同一問題点があり、実用上は参考値程度に利用することが望ましい。

4. 計測管理手法

土留め計測の目的からすれば、得られたデータをどのように施工に反映させるかが管理上もっとも重要であり、土留め計測の成否はこの手法ひとつで決まるといっても過言ではない。しかし、現状では計測を実施することだけで満足してしまったり、多量のデータを迅速に整理することができずデータを有効に利用していない例もある。また、実測値と設計値を単純に比較するだけで管理を行なっている場合もある。ここで、実測値と設計値の関連について以下に述べる。

土留め構造物の設計指針・規準は、学会、鉄道、道路、地下鉄、下水道など多種類あり、各地方自治体によっても異なることがある。例えば、土留め壁に作用する側圧の考え方が構築される構造物の種類によって異なったり、壁体の応力・変形の計算手法も単純バリから弾塑性拡張法まで種々の方法がある。これは、構造物の重要度、特殊性および地域特性などを考慮しているためと考えられるが、掘削による土留め壁の挙動は、構築される構造物がどう利用されるかには関係なく、地盤条件や施工の条件などで決まることはいうまでもない。すなわち、設計値は力学的には関係のない設計上の思想や、全体もしくは部分的に安全率などを考慮した値であり、実際の挙動をそのまま表わしている実測値とは基本的に異なる性質のものである。したがって、実測値と設計値の単純な比較は、計測管理における一応の目安とはなるが、この比較だけでは管理上不十分といえよう。

計測管理手法は、計測の規模・内容などによって多少異なるが、基本的には過去のデータを経時的および統計的に処理し、現在のデータで工事の安全性を確認しながら将来の施工の予測に結びつけていくような手法が望ましい。

現行でのもっとも確実な管理手法の例としては、

材料の許容値などから事前に設定した管理値と実測値を比較検討する「絶対値管理」と、土留め解析手法（弾塑性拡張法など）を用いて現時点までの掘削段階をシミュレーションし、この解析で用いた諸定数を使って次掘削～最終段階までの予測計算を行ない工事の安全性を事前に確認する「予測管理」を主体とした手法が挙げられる。

しかし、土留め工事は土を対象とした工事であるため、土の経時的な挙動を把握することも重要であり、今後、これらの管理に加えてデータ個々の、あるいは他項目との相関性の経時的な挙動の管理、すなわち「経時管理」の手法を確立していくことが必要であろう。

これらの総合的な管理を実際の施工に適用する場合には、計測データの迅速な処理が要求される。このため、計測・データ処理・作表・作図などの一連の作業をきわめて短時間に行うことのできるパーソナルコンピュータを計測システムに組込むことは、これらの管理を実現するひとつの有力な手段といえる。

5. あとがき

最近の土留め計測管理では、その計測システムにパーソナルコンピュータを導入した例も多いが、コンピュータの作業内容は、現状ではほとんどの場合データの処理までである。

このパーソナルコンピュータにある程度の判断機能を持たせて土留め計測管理の自動化を図るには、データの信頼性の向上および管理手法の標準化などが重要である。また、コスト面からは、計測および管理手法の単純化も徐々に行っていく必要があり、データの収集に努めるとともに、これらに関する総合的な研究が望まれる。

<参考文献>

- 1) 開削トンネル指針，土木学会，1977
- 2) 土留め構造物の設計法，土質工学会，1975
- 3) 金谷・宮崎・森脇・土屋：山留めの計測管理，現場計測シンポジウム，1981
- 4) 金谷・宮崎・土屋・石井：RC山留め壁にかかる側圧一測定値の評価法一，第15回土質工学研究発表会，1980
- 5) 金谷・宮崎・森脇・土屋：山留めの計測管理一管理方法と応用例一，土木技術研究所報Vol.25,1982