

アースアンカーの問題点

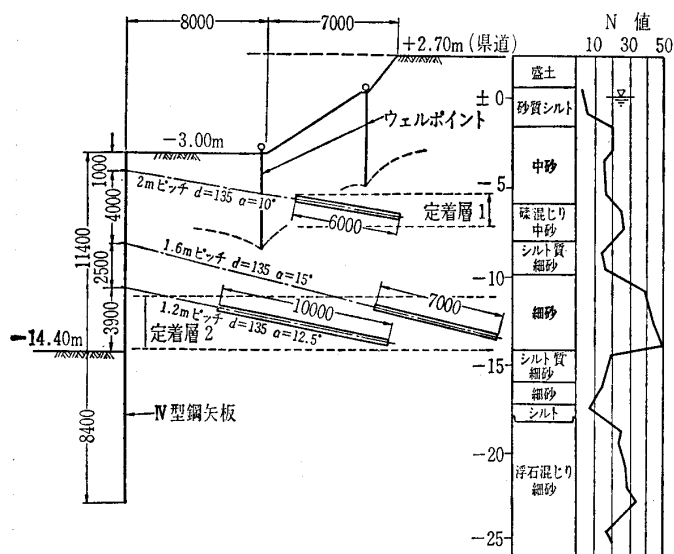
開催期日：昭和 53 年 9 月 27 日
 開催場所：土質工学会 会議室
 主 催：「土と基礎」編集委員会

1. 現場から見たアースアンカーの問題点

近藤(司会) 今日はお忙しいところをご参加くださいます。ありがとうございます。今日の座談会は「アースアンカーの問題点」というテーマでございますが、ご承知のように昭和51年9月、学会から「アースアンカー工法」が出版されて満2年経過したことになります。この基準(案)ができた時点で、ずいぶんいろいろ討議がなされたと思いますが、アースアンカーという応用範囲の広い工法が最近各地で盛んに採用されるようになってきておりますので、実際の施工に当たって苦勞された点や疑問に感じられたことなどを伺いながら、学会から出しております出版物についての反省も進めてまいりたいと考えております。

最初に現場あるいは設計の段階で、支持力の取り方、安全性・信頼性の問題、耐久力などについて苦勞された点も多いかと思しますので、まず問題点を事例を通じて引っ張り出していただきたいと考えております。

相原 現在施工中のある処理場の掘削工事の例をお話します。現場は河川のそばで、長さ100m、幅30m、深さ14m程度の規模で、最初6mを一次掘削し(のり面掘削)、その基盤から鋼矢板を打って3～4段のアンカーを行う計画でした。土質的には河川の堆積物で主として砂質地盤で



図—1 H処理場ポンプ室部標準断面

出席者(敬称略・順不同)

相原 功(大林組 土木本部設計部)

伊藤 克彦(鴻池組 土木技術部)

勝見 雅(鳥取大学 工学部)

草深 守人(間組 技術開発本部)

栗原 光二(日本道路公団 建設第一部)

小山 堯(国鉄 東京第三工事局)

鷹野 昭治(日本アンカー協会)

玉野 富雄(大阪市 下水道局)

百瀬 巖(帝都高速度交通営団)

安江 朝光(建設省 土木研究所)

山門 明雄(アースアンカー基準化委員会)

司会：近藤 正(「土と基礎」編集委員会 委員長)

杉本 隆男(「土と基礎」編集委員会 委員)

岡村 秀夫(「土と基礎」編集委員会 委員)

すが、途中N値40以上の層が3～4mあったり、シルト系の層をはさんだりやや複雑な土層でした(図—1参照)。

前回の工事の際にアンカーの耐力不足がありましたので、「アースアンカー工法(土質工学会)」の表注1)によれば1本当たり70tf程度になりますが、だいたい落として1本40tfで計画いたしました。1段、2段までは予定どおり順調にいきましたが、3段目になり試験アンカーを打ち実際に引っ張ってみますと5～6tfで抜けてしまいました。これはグラウトの方法などに何か手落ちがあったのではないかと、再び試験アンカーをしました。やはり同じようなオーダーで抜けましたので、その後は掘削方法をエア掘りからパーカッション方式に変更して、どうやら所定の目的を達しました。反省として、① 表の摩擦抵抗(τ)をそのまま使用していいかどうか、② 削孔方法と τ の取り方は関係あるのではないかと、③ 地下水の流れの強いところでのグラウト強度の問題、④ 一次ののり面掘削で荷重を除去したことが耐力不足に関係があるのではないかとという問題が、分からないまま残っているわけです。幸いにして工法変更で所定の目的を達し、今から考えても当現場ではアースアンカー工法が一番良かったと思いますが、今後の適用面では検討しなければいけない事項が多々あるので

注1) 土質工学会発行「アースアンカー工法—付土質工学会アースアンカー設計・施工基準—」p.50の表—3・4 アンカー周囲摩擦抵抗

はないかと感じた次第です。

近藤 いろいろ問題があるようでございますね。続いて鴻池組の伊藤さんをお願いいたします。

伊藤 私は設計面で非常に悩んだことがあります。それは非常に地盤の悪い場所で、壁厚1mの剛性の高い連続壁に5～6段のアースアンカーを用いて掘削する場合の的確な壁の設計計算法についてです。土質工学会の「アースアンカー工法」によると、切ばり工法に準拠することになっています。私が知っている限りでは、アンカーを使用した山留めは変位が少ないということで、アンカーのばね定数を自由長部分の鋼線のばね定数の数十倍と仮定し、プレロードの効果を正しく評価することなくそういう切ばりが入っている山留めとして処理されていたと思います。実際にはアンカーに対しては、自由長部分のばね定数を用い、プレストレスを正しく評価できるような設計計算をしなければならないのではないかと考えています。

もう一つの問題は、山留めとして使用した連続壁をその後本体構造物の一部に転用する場合に発生する問題です。この場合、掘削の時点で壁に入ります変形とか応力が残留いたします。これらをできる限り最終掘削の段階において小さくすることが必要と思われます。



伊藤氏

それで壁の中に各種の計器を埋設して、掘削すると同時に計測される各種の情報を参考にし、山留め壁の応力～変形のシミュレーションの助けをかりて先の状況を予測しながら、掘削を進めることになります。この場合アンカー工法では切ばり工法と違ってプレストレスというものを全く人為的に変動できるため、プレストレスの導入の仕方の変形や応力を自由に変化させることができます。従って最終段階で最も残留変形の少ない形で掘り上げるにはどういう配分で入れてゆくかが課題です。私は今この問題に取り組んで掘削の管理を進めていますが、現在のところ大体予想していた形で進んでおります。あとで上段のすでに施工済のアンカーの張力を再調整しなければならないようなことが起こるかどうかが心配しております。

近藤 次に日本道路公団の栗原さん、お話ししていただけますか。

栗原 2年程前になりますが、東北道の建設現場におりましたとき、盛岡市から約15km南の紫波町内の切土部に当初予想されなかった遺跡（中世の山城跡）が出まして、その重要部分を保存するために切土の範囲を狭くする工事を担当しました。遺跡保存という特殊性から一般的な擁壁工法が採れませんので、3段ののり面のうち上2段を約1割4分で切った後、最下段に連続地中壁（地上7m、根入れ4m）を施工し、その前面の土を排除しながらアースアンカーを設置してゆくという工法を経験しました。

当工法を検討する上で一番問題になったのは連続地中壁を安定させるためのアースアンカーが永久構造物として信頼できるかという点です。ロックアンカーと違ってアースアンカーは外力が働いた場合に土とアンカー体との定着が逐次破壊して引き抜けるのではないかとという疑問です。現地は粘性土が主体でアンカーの定着盤として期待できるような地質ではありません。検討の結果、単純にアンカー長を長くすることで絶対に引き抜けないアンカーの施工ができるという説明をしまして、採用されることになりました。

その次の問題として、アンカーに作用する荷重をどのようにとるかという点で、設計方法が確立していないため、その計算に苦慮した覚えがあります。現場は特に地質が悪く当該箇所、前後の5箇所ののり面がすべて地すべりを起こしておりました関係で、円弧すべり面法により連続地中壁にかかる荷重を計算しました。その結果、アンカー1本当たりの荷重が大きいく所約100tfになった箇所もございます。

本工事の詳細については、本号の報告（pp. 43～50）で日本道路公団の後藤俊次氏「永久構造物（擁壁）に用いたアースアンカー工法」が報告されています。

近藤 現地はもう供用されているのでは……。

栗原 52年11月に供用しましたので約1年になります。53年6月の宮城沖地震で、震度IV～Vという大きな震動を受けましたが、被害は何もありませんでした。地中壁の鉄筋及びアンカーに設計荷重よりも大きい値が生じたときに管理事務所の警報が鳴るようにしておりますが、異常はございませんでした。また地中壁の移動量を計測するようにしておりますが、今のところ全く変位がございません。

近藤 それでは国鉄の小山さん、お願いします。

小山 古い話で申しわけないのですが、47年ころの施工例です。引抜き抵抗を推定するとき、定着側がロームと砂が互層であったので、計算上、どちらの土層を採用すべきか判断に迷った。そのときはロームの摩擦力を使用した定着長と砂層のみで推定した定着長の比較を行い長い方を採用しました。現在の基準においても互層の扱い方が明確になっていないのではないのでしょうか。

先程、相原さんからお話がいったように、引抜き試験で所定の引抜き抵抗力を確認でき、安心して使用することにしたところ、実際施工すると所定の引抜き抵抗力の1/2程度で抜けた例がありました。地盤はN値50以上の砂層で、アンカー定着部は地下水がない状態でした。連続して抜け、再施工したり、その部分を抜き掘りにして土体を先に施工する段取りをしました。民地部にアンカーが入りまして地主の方の許可が取れなかったため、国鉄の用地内に深礎を掘り、この深礎にアンカーを結びつけて措置したことがありました。

鋼矢板の腹起こしを構造物と一緒に埋め殺しするような

座 談 会

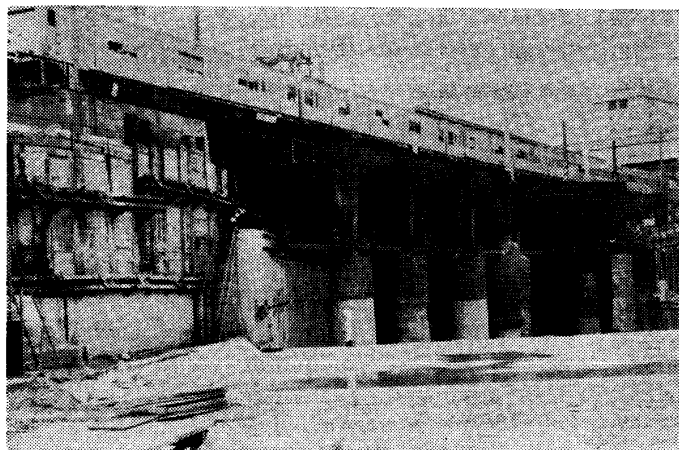


写真-1

とき、隣接して他の構造物ができると基礎杭等がアンカーに当たり本体構造物に影響を与えることがあると思います。本体構造物と一体化する場合は、アンカーの緊張をゆるめた方がいいのか、あるいは取り払った方がいいのか判断に迷うことがあります。

山門 本体と一緒にすると地震のときに問題となる場合があります、これは私見ですが、地震の場合を考えると切っておいた方がいいような気がします。永久構造物と一緒にアンカーを使うことになると、常時には安定性が高いのですが、地震時にはどうなるか心配です。先程の伊藤さんの場合にも、プレストレスをかけていけば確かに壁体の応力は少なくなりますが、地震時には更に力がかかりますから、このような場合は切っておいた方がいいような気がします。

伊藤 切っておいた方がいいと私も思いますが、実際本体壁として利用する山留め壁の場合には構築が建ち上がる段階で、アンカーの切り方をどうするか、アンカー荷重を何で盛り替えて受け持たせるか、あるいは止水はどうするかなど、非常に施工上問題となることが多いと思われます。

近藤 栗原さんの先程のお話で、宮城県沖地震を経験しているということでしたが、地震時どの程度の外力が作用したかわかりますか。

栗原 ある限度以上になると警報が出る仕掛けになっておりますが、自動記録をしていませんのである瞬間にいくら作用したかは測定できません。鉄筋計、土圧計、傾斜計を設置し開通するまでの1年間定期的に計測しておりましたが、地震時の記録はないと思います。

小山 具体的に警報が鳴っておかしな傾向が出たときの対策として、補強方法などを考えておられましたか。

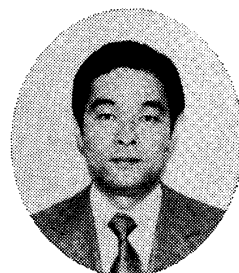
栗原 まず交通の安全に支障があれば交通規制をかけることになると思います。かりにアンカーが引き抜けてきた場合の対策としてはその程度によって前面にもたれ擁壁を施工するとか、又荷重の軽減を図るため上の土を排除するとかの検討をすることになるかと思います。補強アンカーを打つということは、もうすでに1.5m ピッチでアンカー

が入っていますのでグループ効果などの問題であまり期待できないと思います。

山門 ヨーロッパでは永久構造物に使用する場合は、再緊張ができる構造にしておくように一応定められています。一定期間後あるいは危険性が万一感じられる場合は、再試験することになります。

近藤 いろいろお話が出ておりますが、大阪市の玉野さん、お願いいたします。

玉野 私は、処理場やポンプ場の設計を担当しています。山留めを設計する場合に切ばり工法で設計することが多いですが、掘削面積が大きいときはアイランド工法を採用するのが一般的です。たまたま1年程前に20万 m^3 程度の土を掘削しなければならない工事で、工期の短縮と大規模な土工事に機動性をもたせるためにアン



玉野氏

カー工法を使用しようということになり、アンカーの設計をしました。その際、先程、伊藤さんがお話しされたのと同様に設計の考え方でわからない点が多くありました。特にアンカー工法と切ばり工法と同じ考え方でよいということが大きな問題でした。アンカーのメカニズムから考えて同じ考え方をするのは無理があるようですが、納得のいかないまま設計し、あとは計測管理で施工することになりました。その中で感じたことなのですが、切ばり工法と比較してアンカー工法ではよりシビヤな設計、施工が必要になるということです。例えば、切ばり工法であれば施工過程で設計以上の荷重がかかり、具合が悪くなくても補強が簡単であるのに対し、アンカー工法ではそうは簡単にいかないようです。特に定着時に緊張力を与えるために複雑な側圧の再配分が生じ、3段アンカーの緊張時に1段のアンカーに設計以上の過大な荷重が生ずるのではないかとという心配があります。又、計測管理手法の話ですが、アンカー荷重を測定していて雨が降った後で50tf程度から急に100tf近くに上昇しアンカーが抜けるのではないかとあわてたことがあります。初めは使用したセンターホール型の荷重計を信用していました。背面に水路がありましたので、その影響ではないかと思った訳です。しかし、それだけでは100tfになることの説明が付きません。そこで、山留めの変形の測定値と確認試験時の荷重・変位関係とを対比し100tfになることはないかと判断しました。調べてみると設置時に偏心を少なくするために計器をたたいた後があり、そのため計器の防水樹脂にクラックが入って水が浸入し絶縁不良になったと結論付けた訳です。アンカー工法では荷重計だけでなく電気的な測定方法での計測器にたよって施工せざるを得ないのが現状ですので、いろいろなトラブルが起こりやすいようです。こういったことがたまたま起こればアンカーは切ばりと違って目に見えませんが、

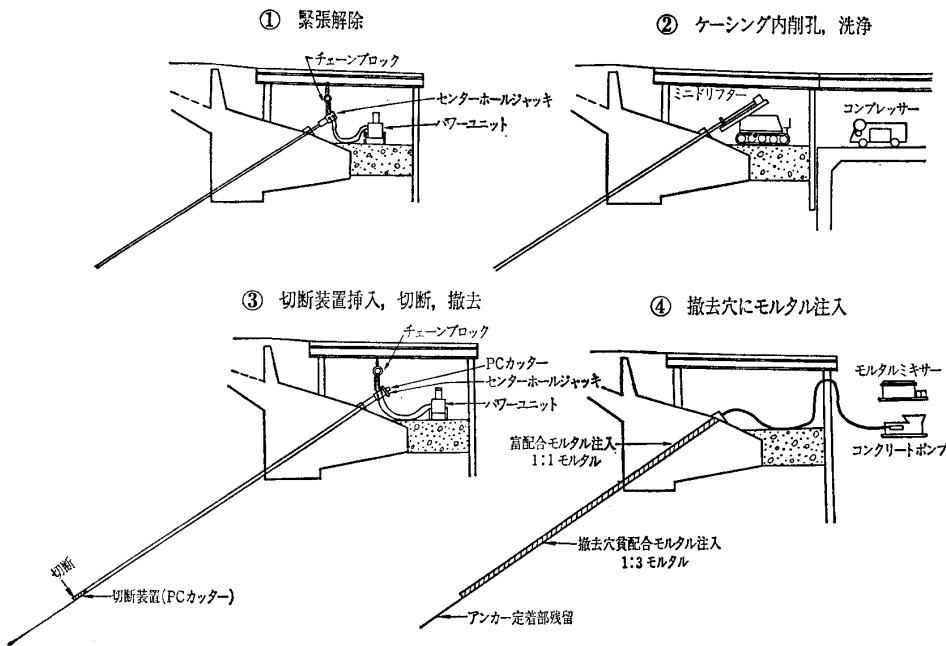


図-2 施 工 順 序

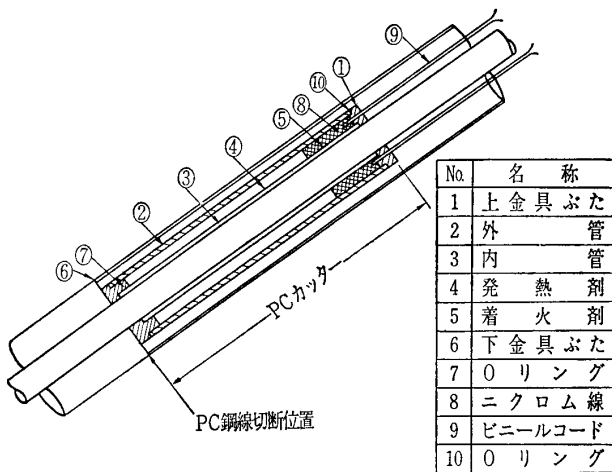


図-3 アンカー切断装置 (PC カッター)

値そのものの解釈に苦しむことになりますので山留めの変形を含めて注意深い計測管理が必要であると思います。

近藤 営団の百瀬さん、お願いいたします。

百瀬 営団では昭和43年に西日暮里でアースアンカーを初めて使用しました。その後、44～49年には代々木及び牛込濠で大規模断面の留置線部で使用しております。使用理由の利点は、①掘削断面の空間確保により掘削の機械化、省力化ができる、②設計図どおりの鉄筋が組め、完全な構造物ができる、③スライディングホームの採用により、工期の短縮と省力化ができることから、全面的にアースアンカー工法が採用されるようになりました。49年以降の地下鉄工事は非常に深くなり、シールド工法が60%以上占めるようになりました。シールドのたて坑に連続地中壁を使用し、地中壁施工余裕を確保するため、アンカーを数段使用され

る例が多くなりました。アンカー使用に当たって問題になりますのが民地の使用で、交渉が難行することが最近出てきています。100% 除去できない工法は民地部では採用しないというのが基本的考えですので、除去工法の開発を急いでいただきたいというのが現場からの切実なる願いだと思います。実は私の現場で中間部から一部を除去した例がありますので紹介します。それは橋台に接近して工事したとき、掘削による橋台の変位防止にアンカーを使用しました。河川管理者から工事終了後、将来河川内の浚渫などに支障となるため、計画河床面から5 m以内のものは撤去するようという

ことで、設置後3年過ぎた時点で図-2、3のようなPC カッターを使用して発熱による鋼線の切断方法で撤去しました。このときは、非定着部分のケーシング内を削孔しまして、水洗い後 PC カッターを設置し直すという方法で29本全部引き抜くことができました。問題点として現場サイドではアンカーは失敗を許されないものですから、なるべく安全側にもっていったって施工を早くしたいという傾向が出てまいります。ストランドの長さを早く決めないと製作及び工程に間に合わないことなどがあって、引抜き試験を設置位置で同じ条件で行えないことが多く、試験をしても余長を取る傾向になりがちです。

近藤 いろいろご経験をお話いただいたわけですが、煎じつめてみますと基準の中で詳細な点については、依然、設計あるいは施工を担当されている方にゆだねられているのが現状と申しますか、そういう書き方になっております。その時点では、どうも書ききれないとか、まだ資料が足りないとか、あるいはいくつかの意見があって、おそらくもう少し経験や実績の積上げをして再度改訂すべきだということもお話もたぶんあったのだらうと思います。

安江さん、建設省の方でアースアンカーについて、いろいろお考えなりあるいは施工例を耳にされたことがあるかと思いますが、何か実例ないし、お聞かせいただくようなものがありましたらお話しいただけないでしょうか。

安江 お話しできるのは、斜面安定に関する範囲ですが、相談が時々あります。聞かれます内容は、擁壁の滑動に対する不足分を補うとか、のりわくの補強などアンカーを構造物と併用して使うとき、まず長期設計荷重をいくらにとればよいかという問題です。学会の本などを参考に決めておりますが、地山のどこかにテンションゾーンがで

座 談 会

きると思いますが、その場合の岩盤の引っ張り強度をどういうふうに評価すればよいか苦勞しております。また併用になりますと、変位のファクターが入ってくるわけで、個々に働いては意味がないので、どの程度の変位を許せば構造物とアンカーが同時にうまく働いてくれるか、そのへんの判断が問題です。永久構造物の場合、ゆるみの問題が入りますが、ある時点でもう一度締めつけるのか、あるいはゆるみの出ない対策をしておくなどの工夫がいるのではないのでしょうか。

長期の場合、アンカー周囲の摩擦抵抗が、表にして示されていますが、ダムや本四の橋梁などで提案されているものから考えますと、少し高いのではないかという気がします。表では風化岩いくら、土丹いくらとなっておりますが、風化岩にもいろいろ種類があるわけですから、もう少し整合性のある表にしていれば使いやすいと思います。ところが結果的に言いますと、私が聞かれて相談に乗った場合ですが、数は多くはありませんが、最終的には全部うまくいっています。設計荷重については、なるべく他の経験も入れて、少し低目を使ってもらっています。それから変位については、地盤調査結果などを参考に、例えば5mm程度のオーダーで適宜判断して決めるというやり方をしています。施工例と同時に追跡調査して、何年後に問題であったけれども、こういう補強でうまくいったというような施工例をまとめていただければ非常にありがたいと思っています。

2. 支持力機構、極限引抜き力

近藤 いろいろ出てまいりました問題点を拾いながら、少し支持力のメカニズムに話を移していきたいと思います。山門先生、何かお気づきの点ございませんでしょうか。

山門 先程耐力が出なかったというお話がございましたが、アンカーは施工の優劣で耐力が非常に違ってまいりますので、耐力が出ないのは施工の仕方がおかしかったのではないかという気がします。特に地下水の高い場合には削孔技術の良否が耐力に対して非常に影響いたします。表は、今までの試験結果の最低を選んでいるはずで、十分な施工をすれば一般には耐力が大きくなるのが普通だと思います。このように施工の良否によってアンカー耐力に差異が出るので確認試験が重要となります。アースアンカーは、加圧してグラウトしますので大体標準の公称径より大きい径となります。岩盤の場合、きれいにロータリーで掘りますと逆に弱くなる場合もあると思うのですが。ロックアンカーは昔から使われているので安心されているのでしょうか。



山 門 氏

玉野 施工に先立っての引抜き試験結果が、表の値より

大きくなることがあります。このとき、施工サイドとしては安全側にとということ、設計サイドとしては引抜き抵抗の機構がよくわからないということから表の値で妥協してしまうことが多い。この場合、引抜き試験は表の値の追試に終わっているのではないかという気がします。通常引抜き試験は反力装置の関係から垂直に打設したアンカーで行いますが、実際に利用する角度で試験すべきではないかという気がします。利用目的によっていくらの変位に対応する荷重を極限值とすればよいかという問題はアンカーの引抜き試験結果を解釈する場合に重要な要因になるように思われます。

鷹野 アンカー体の公称表面積で割った単位面積当たりの摩擦抵抗値(τ)の問題ですが、表は大ざっぱな目安として協会が提示したものでございます。協会で決める前に何度かこれら τ の値が参考にしておりましたが、経過的に見てみますとだんだん小さくなってきて協会のが最も小さくなっております。それにはかなりはっきりした理由があるわけです。それは施工法、特に削孔方法の問題です。10年程前には地質調査用のロータリー削孔機で、細いロッドの先端にアンカー径に相当するコアチューブを取り付けて掘っていました。そのため、崩れ易い地層では斜め、あるいは横に近いアンカーが難しくロックアンカーに近いものが多く掘られていたのではないかと思います。崩れやすい地層ですと15m位のアンカーを作るのに、2、3日から10日もかかり、今日とは比べものにならない程時間を要しました。すなわち、土砂の崩壊やゆるみを止めるような削孔方法をとっていなかったため、削孔ビットよりも何倍か大きい穴があけられていました。従いまして、アンカー表面と地盤との摩擦抵抗は見掛け上非常に過大に出ていたわけです。それが削孔機の改良と施工経験が増すにつれて徐々に削孔ビット径に近い小さい穴が速く掘れるようになってきました。そういった経過と原因により摩擦抵抗値 τ が見かけ上だんだん下がってきた現象を呈しています。 τ を算出する際の見かけ上の表面積の問題が理由の1つだと思います。

むしろ昔に比べると実際の真の引抜き抵抗値 τ は現在の方が大きいものが得られていると考えています。施工法が向上していますので地盤をそういためずに削孔できるようになっていますし、削孔時のゆるみはあとの注入などで回復・強化できる状態にあるからです。

ただ、そろそろこの協会の値にしましても、 N 値だけに対応させて決めるとか、先程、安江さんからご指摘ありましたような土丹なら何 kgf/cm^2 というような、大ざっぱな値は改正しないと誤解を招く恐れがあるのではないかと感じております。

例えば砂や砂礫地盤ですと、土かぶり圧の影響が相当極端に出ると思います。ですから、定着長の設置深度自体が問題でして、地表面付近に N 値20~30の砂層があるからといって2~3 kgf/cm^2 の摩擦抵抗値をとるのは危険だと思います。

われます。通常の引抜き試験は鉛直方向でやりますが、同じ深度のところに、例えば 22° 位のアンカーを斜めに打ちますと垂直に打ったものよりも一般に小さい値が出ています。これは1つは垂直アンカーの方が地盤をゆるめないので掘りやすいという条件と一次注入の加圧が容易であるという施工上の問題があります。又、中位に締まった砂地盤で20m近い垂直アンカーに注入材としての水セメント比を45~80%まで変えて打ったものの引抜き試験をやった例ですが、100 tf 以上の引抜き力についてほぼ変わりがなく、グラウトと鋼材との付着にも問題がなかったという例もあります。



鷹 野 氏

少し細かい話になりますが、使用する鋼材と削孔径との微妙な関係で一次注入圧がアンカー頭部にかかっていて肝心の先端部で加圧されていなかったため、予期した耐力が得られなかった例などもあります。

そういった問題もありまして、引抜き抵抗に関しましては、地盤、特に地下水の状態、土質、施工性の問題（削孔と一次注入の方法、使用鋼材の問題など）を含めて検討すると同時に、アンカーの角度、土かぶり圧などを加味して選定しなければいけないと感じています。

それから設計上の問題として、引抜き試験で推定値の2、3倍の摩擦抵抗値が得られたとしてアンカー1本当たりの設計をするとアンカー長が短くなる。ところがアンカーのグループを含んだ地盤全体の安定性をクランツの解析法でチェックすると不安定となるのでアンカー長を長くする。結果的には単純な設計法で表の値を使ったものに近づいてくるといふ例も少なからずあります。いずれにせよ、合理的設計法としては単に摩擦抵抗値を引き上げるだけでなく設計法自体の検討が必要かと思えます。

安江 引抜き試験の一般的な方法はセンターホールジャッキだけで引き抜くわけですね。そうしますと、反力がアンカー周辺の地盤を反対に押しつける形になります。その辺のところ、影響がないのでしょうか。

鷹野 自由長の短いロックアンカーのような場合には反力を取る場を離しますね。ただ、アースアンカーの場合には、通常、自由長部の地表付近が弱く、定着長をとる部分はかなり深いので、支持力機構とも関連しますが、一般に引抜き試験の結果には影響が少ないように思います。

近藤 引抜き抵抗とか摩擦抵抗に関連して支持力機構という言葉が出てまいりましたが、勝見先生お話しいただけますか。

勝見 私は上から下向きに荷重がかかる一般的な支持力の問題について勉強しておったのですが、ここ数年前から荷重が逆向きである引抜き力を期待するようなアンカーの支持力に興味を持ちまして勉強しております。先程来のお

話はかなり応用面、それもアンカー体定着長が非常に長く、アンカー体とまわりの土との摩擦力を期待するアンカーということで、私の勉強しておった基本的なこと、すなわちプレートアンカーと異なり分らないわけです。ただ、引抜き時のせん断応力とか付着力とかの話が出てきたわけですが、杭を設計する場合の周面摩擦力あるいは付着力と何か関係があるのではないかと思いついておったのですが、その点どうなのですか。

山門 原則的には杭の周面の土の抵抗で切れると考えているわけで、同じような考え方だと思います。

勝見 そうすると土自身のせん断応力などにきいてくるわけですね。

山門 ええ。ただアースアンカーの場合には少し大き目に出る傾向があります。というのは、大体良好な地盤に加圧して入れますから相当密詰め砂のせん断時のようにダイレイタンスの影響で膨張傾向がありますが拘束されているので体積膨張が許されない。そういう意味で施工が完全に行われるならば耐力が出るような結果となるようにも思われます。設計する場合、径を大きく長さを短くするのは非常に危険になると思われます。というのは、アンカー体を長くすれば何かの加減でボンドが切れても今度はうしろがきいてくれれば全体として深い位置で安定してくれるからです。

勝見 杭の場合、上から載荷試験をしたときの摩擦応力と引き抜いたときの摩擦応力が違うといわれておりますが、その辺のところのお話を伺えますか。

山門 室内実験で砂層中に杭を入れて上から引っ張った場合と下から押す場合について応力を測ったことがあります。すると、前者の応力分布は上が大きく、下が小さかったのに対して後者は一様に近い分布となりました。テンションとコンプレッションの違いで、耐力としては後者の方が大きく出ました。

近藤 今のお話に関連するような形で草深さん、お話しいただけますか。

草深 ある程度の土かぶりをもつアンカーの場合は、たとえ鉛直上向きの引抜き力を作用させても、アンカー体上部地盤の拘束効果により、アンカー体周辺地盤の有効応力は増加するか、あるいは減少してもその割合が比較的小さいことが想像されます。又、ひずみゲージにより測定されたアンカー体周面の摩擦応力度と変位量の関係を整理してみますと、引抜き力を受ける杭よりも押し込み力を受ける杭の周面摩擦にかなりよく似た様相を示すことが分かりました。ただし、摩擦抵抗の大きさといったような量的なものは、杭径とアンカー体径の極端な違いや、施工方法の相違などによりかなり異なるはずですが。



草 深 氏

座 談 会

それから、先程からお話の出ております摩擦抵抗値について少しふれておきますと、これは地盤特性はもちろんのこと、施工方法、特に削孔方法、注入材、加圧圧力、アンカー体の長さなどいろいろなファクターの影響を受けるわけで、 N 値いくらの砂地盤だから摩擦抵抗値いくらといったように単純にかたづけることはできない。

この種の研究については欧州方面でさかんに研究されてきているようで、例えば第9回国際土質基礎工学会議でオスターマイヤーは、砂地盤の摩擦抵抗値を地盤の相対密度とアンカー体長の関係で与えています。またクラマーは約130ケースにのぼる引抜き試験結果について、極限引抜き力に影響するファクターとして、①アンカーの形状寸法と施工に関するもの、②地盤特性に関するもの、③アンカー体周辺地盤の応力状態に関するものの中からそれぞれ数個の影響因子を選び線形重回帰分析を行うことにより、極限引抜き力に対するそれぞれの影響因子の影響度を調べています。その結果、砂地盤に対しては地盤の全体的な粒度分布、粘土地盤に対してはアンカー体の長さや地盤のコンシステンシー指数が重要なファクターであると述べています。

栗原 外力（設計荷重）がどのようにしてアンカー体から地盤へ伝わるかを考えてみますと、アンカーの頭部に近い方から外力による伸びが生じ、その伸びに応じた摩擦力がその部分に働きます。その状態がアンカー体上に連続的に起こり、奥に進むにつれて外力の影響は減衰し、どこかで外力の影響が全くなくなることになります。従ってこの摩擦力の分布形はほぼ三角形もしくはそれに近い曲線分布となります。しかし外力が大きくなると頭部に近い方の変形量が次第に大きくなり、アンカー体と地盤との極限摩擦力を示す変形量（約3～4cm）を越えると、地盤の組織が破壊され摩擦力は極端に低下します。従って三角形の分布形はどんどん奥へ進むことになります。しかし土の場合、極限摩擦力を越えた後の変形量に対してもおよそ50%程度の摩擦力が残留することが実験的にも分かっており、これが三角分布の前方に矩形状に残るため、外力の増加に対して摩擦力の分布面積も増加することになります。従ってアースアンカーの長さを決めるに当たって、設計荷重より決まるアンカー鋼材の極限強さ以上の外力が働いたと仮定して、その大きさに対して矩形と三角形の面積の和が等しくなるようにアンカーの長さをとれば、アンカーの破壊は鋼材の破断で起こるはずであり、決して引き抜けないと考えたわけです。

試験などにより、アンカー体の移動量と摩擦抵抗の関係が読みとればアンカー体上の応力の分布が分かります。それと最大摩擦抵抗値を示す変位量を過ぎた残留抵抗値を測ってトータルし、設計荷重との関係から設置延長を決めて



栗 原 氏

いいのではないかと思います。

玉野 その場合に、応力分布ということですが、例えばアンカー体先端部から分布を出すというのはいかがでしょうか。

栗原 私が設計したのは、有効長の部分の中へシースを2メートルだけ突っ込んでこの区間に圧縮力を働かせる合成アンカーとしました。

玉野 定着長全部を有効に使おうという考えでしたら、アンカー体先端あるいは途中から頭部方向に分布させた方が有利になるような気がします。

栗原 私の場合、最長50メートルものアンカー長となりましたが、このような長大なものに全長にわたってシースを入れてフリーにしておくことは鋼材の伸びが大きくなりすぎることと、アンカー体の先端のみの短い区間に外力をすべてかけてしまうことはこの部分の定着のしかたに不安が残ると考えて全長にわたって圧縮形にすることはしておりません。

草深 今、お二人のお話の中で、摩擦抵抗機構、アンカー体の長さ、引抜き力をアンカー体を通してどのように地盤に有効に伝えたらよいかという3つのポイントについて基本的な考え方を簡単にまとめてみますと、まず、摩擦抵抗ですが、前にもお話ししましたように、杭の場合に非常によく似ておりまして、以前アースアンカー基準化委員会で収集されました試験データを山門先生の研究室で開発されました杭のプログラムをお借りしてシミュレーションしたところ、荷重—変位量曲線をかなりよく追跡できることが分かりました。

次に、アンカー体長についてですが、アンカー体長は、地盤とアンカー体の剛性に応じたある長さ以上にしても、降伏以前の荷重と変位量関係にはほとんど影響を与えずに、ある長さを越えた部分は主に降伏後の荷重—変位量関係を決定づける。又、アンカー体長と安全率の間には力学的にも相当ははっきりした関係があるように思われますので、このへんを将来もっと検討して、安全率の定義を理論的にすっきりさせていくべきと考えます。

最後に、引張り材をアンカー体のどの位置でつなげば効果的かということですが、引抜き抵抗がアンカー体の剛性の大小にかなり左右されることから、先程、玉野さんがおっしゃった引抜き力をアンカー体先端に作用させ、注入モルタルを圧縮材として使用するような構造とし、アンカー体自身の剛性を高める方法が有効だと思います。また、摩擦応力の分布の形から考えれば、一部の除去アンカーで実用化されているアンカー体全長にわたって摩擦応力を均等に分布させる構造が理想的と言えます。ただ、いずれも、コスト面で問題があり、一般的に多用化できないというのが現状ではないでしょうか。

3. 安全率・信頼性・その他

近藤 安全率という話が出てまいりましたところで、話題を安全率や信頼性という方向に移らせていただきます。勝見先生は何か……。

勝見 安全率の問題は基礎構造物の設計者あるいは技術者にとりましては必ず一度はぶち当たる問題だと思います。信頼性理論が構造関係の研究者の方から土の分野にだいぶ入ってきまして、名古屋大学の松尾先生あたりは斜面の安定計算を媒体に信頼性理論を土の分野で打ち立てようと努力されております。



勝 見 氏

ただ一言に安全率と申しまして設計指針とか設計計算式が不備でそれを安全率でカバーする場合と、もう一つは土の強度定数のインプットの問題点をカバーする場合との二つに分けて論ずべきだと思います。ですから先程から言われている応力分布の取り方に関する議論も、設計指針とか設計計算式そのものにまだ不満足なところがあるというふうに解釈した方がいいのではないかと考えております。

小山 安全率のとり方について引抜き抵抗に対する安全率と鋼材の安全率を別に考えるべきではないかと思ひます。引抜き抵抗はあくまでも鋼材の強度に対して何倍という安全率をとってあるという考えをしたら間違いなのでしょう。



小 山 氏

山門 栗原さんの話のように長いアンカーを作った場合には鋼材の降伏応力に対して安全率をいくらかとるわけですね。もう一つは鋼材が破断しなくても地盤が破断する。それからの安全率がありますね。又、永久構造物になりますとクリープの問題が入ってくるのでクリープ量から安全率を見てくる。ですから、その三つから判定して設計しないといまづい。安全率はそれぞれ違ってくると思ひます。

参考までに DIN では地盤の破断に対しては永久構造物は1.75であり、引抜き試験で破断しなければ実験最大荷重をとり、それに対して安全率が1.75。それからクリープに対してはクリープ指数量(k_s)なるものを考え $k_s=2.0\text{mm}$ の荷重を基準にして、安全率を1.5にとっている。それから相対密度とコンシステンシーを非常に重要視しています。

小山 安全率のとり方で発言させていただいたのは、地震のときのアンカーのことをどう考えたらよいのかと考えておりました。クランツの設計の話が出ましたが、これを全部地震荷重としますと土塊全体が側圧として作用して、アンカーの安全率をいくら上げてても地盤崩壊を防ぐことは困難でないかと思ひます。そこで、地震を考える場合には

鋼材の破断強度を考えればよいのではないと思っていました。

山門 地震の場合ですとアンカーと一体として働かせるには変位の問題になりますから同じ変位で考えなければいけないので、地盤によって伸縮が違うのでなかなか難しいと思ひます。それで永久構造物にアースアンカーを使うには以前非常に抵抗を感じていました。例えば建築の場合はロッキングの問題とか短期に対して利用する程度です。それでも非常に経済的になると思ひます。

安江 私たちの方でも常時ではいいのですが、地震を考えると足らないような場合、不足分をアンカーで補うことは結構ですという言い方をしています。ただし、その場合は常時は引っ張っていません。



安 江 氏

近藤 山門先生、先程、ドイツで DIN が新しく改訂されたということですが……。

山門 仮設に対する基準は1972年、新しいダウエルアンカーと言ひまして永久構造物に対する基準は1976年に公表されました。

近藤 安全率の話とかクリープの話が今出ているわけですが、ほかに興味ある DIN の内容でもございますでしょうか。

山門 永久構造物に用いるアンカーの地盤の選定、腐食対策、試験方法の時間の規定、特にクリープに対する検討方法を規準化している点です。

百瀬 DIN の場合には鋼線の太さの最小を決めているみたいですね。

鷹野 確か鋼線の断面積が何 mm^2 以上とかいう規定がございました。これなどは腐食に対するものだと思います。

百瀬 安全率のことですが、アンカーの利用目的とか設置条件、永久か仮設かなどによって異なるのが当然だと思います。それで、アンカー体の摩擦力と変位の関係はどうなっているかといへば、やはりアンカー体上部から破壊が徐々にきてそれが下部の方に伝わり摩擦抵抗が発生し、付着応力度が最大になったときに極限引抜き抵抗を示すと思われます。今の規準ですと一率に例えば試験をやって1.5倍の安全率を取れということになって



百 瀬 氏

ていますが、アンカー体の長さによって安全率を決める必要があるのではないか。例えば、アンカー体6メートルのものと15メートルのものが同じ1.5というのはおかしいという気がします。

草深 確かに解析してみますと、降伏後から完全に破壊に至るまでの挙動はアンカー体の長さが非常にきいてくる

座 談 会

ようです。従いまして、実際の安全性についてはアンカー体長で検討するという考え方もあるわけです。又、アンカー体がある限界長を確保していれば、それ以上長くしても降伏前の荷重と変位量の関係にほとんど影響を与えないと考えられます。もし設計耐力を降伏荷重を基準にして、それを安全率で除したもので設計する場合は、例えば、限界アンカー体長が6 m以下の地盤で同じ設計荷重に対しては両者の安全率は同程度と考えられます。ところが、現在の設計法で設計耐力をアンカー体長に比例して大きく取ると6 mと15 mでは異なった安全率となり、15 mの設計耐力は危険側となるわけです。

もちろん、経験を積んだ設計者はこのような問題を認識し、アンカー体長を長くして耐力を期待する場合は何らかの割引きを行っているようですが、今後、設計基準などで定量的に明確化しておく必要を感じます。

鷹野 先程、栗原さんがおっしゃった地盤との間の抵抗値がピークを過ぎたあとも強度が残留します。およその見当ではアンカー体がかなり変位した状態で、まさ土のような砂質の場合70~80%、粘性土で急速にせん断した場合に50%程度と記憶しています。仮設アンカーの安全率が1.5というのもそのへんをある程度考慮したものかと勝手に理解していました。永久構造物では目的と設計条件により1.7とか2.0、あるいは3とか4と大きくとっています。3とか4ですと過大に安全率をとっていると逆の危惧を感じた例もありますが、地震時のような不確定要因を考えますとその過大に感じた分が補っていると解釈してまいりました。

栗原 今の値について当時設計していたところに私が試算したところによりますと、残留強度を0.5と考えて鋼材の許可応力度を降伏値の0.6としますと、アンカー体先端が全く影響を受けない形を考えた場合、安全率として約3.5となりましたが、アンカー体と土との支持力機構を詳しく調べていけば、もう少し小さくできると思います。

草深 今、安全率とか信頼性の問題で議論されているのですが、安全率を決める場合、重要構造物だから大きくする、仮設構造物だから小さくするというところまでは理解できますが、実際にいくらにするかが問題となるわけで既往の他の構造物の安全率などを目安として決めるというあやふやな問題になっています。先程、勝見先生もお話しされた信頼性理論などを取り入れて、もっと数値で定量的に評価する必要があるかと思っています。

玉野 アンカー工法の土留めを設計する場合、設計側圧のとり方がどうもはっきりしないようです。定着時に緊張力を与えることで変形を小さくするといった点では非常に有効であると思うのですが、変形を許さない場合、水圧の問題を別にすれば静止土圧に近い形で設計しなければならなくなります。ですから安全率の問題にしても、かかる力をいくらにとるかが分からないと安全率は把握できない訳

です。今のところ、かかる力がいくらになるかといった話はあまり出てきていないようですが……。例えば、静止土圧を採用した場合は安全率1.5で設計するといったような。私の考え方ではアンカーを用いた山留めの設計には静止土圧を用いた方が考え方としてよいと思っています。安全率が1.5でよいかどうかは別ですが……。こういった研究を実測例に基づいてすることが安全率を評価するために今後必要になるのではないかと思います。

山門 正直申しますと安全率の取り方を規準で決める場合、相当もめたのです。DINの仮設アンカーでは1.3ですし、又永久アンカーでは1.75です。これらを参考にいろいろ議論を尽くし長期、短期、クリープなどをひっくるめ安全をとって学会の規準値を決めたわけです。

小山 永久構造で長いものを使う場合、定着部の伸び率は上の方が大きく下の方が小さいと伸び率の大きいところのモルタルにクラックが生じると思われますが……。

山門 ストンプボアー (Stomp Bohr) という会社のアンカーは一番下から引っ張るのでアンカー体は常にコンプレッションの状態にありクラックが入りにくいですが、日本では上から引っ張るのでクラックが発生することを心配されているのかと思います。引張り鋼材とのかぶりが十分あれば大体切れますのは引張り鋼材定着部のボンドで切れてアンカー体はあまりクラックが入らないようです。引張り材定着長をアンカー体定着長と等しくするとボンドが切れて水が入って引っ張り部分とアンカー体のところで腐食するので、むしろアンカー体定着長の中に引っ張り自由長を深くとった方が腐食の心配はないと思います。

相原 その辺の話と関連しますが、現在、非定着長が非常に単純にとられているのすけれども深い掘削山留めなどで使う場合問題となってきます。非定着長と全体の長さを理論的に裏づけのあるもので求められるとアースアンカーも使いやすくなると思うのですが。



相 原 氏

山門 DINの永久アンカーでは粘性土地盤の場合コンシステンシー指数が0.9以下、液性限界が50%以上だと永久アースアンカーは使えません。それから砂質地盤だと相対密度は0.3を基準にしています。この基準はクリープの関係からだと思いますが……。こういう規定をするからには西独では相当膨大なデータを根拠にしていると推定しています。

玉野 大阪の沖積粘土層の下は砂礫層と粘土層を含んだ複雑な互層になっている場合が多いです。それより更に下に定着層をとった場合、アンカー長が長くなり経済的でありませんので、どうしても粘土層を定着層として使いたい訳です。この層にアンカー体を作る際、粘土地盤の降伏値を越えた圧力で加圧注入しているのに実際引っ張ると相当

な抵抗力があるといったことも経験しています。粘性土質での適切な加圧力とか、せん断抵抗のとり方といったことが施工報告例が少なくよく分かりませんね。

草深 仮設のような短期のものであったら、上部の粘土層に定着することも考えられます。ただ、この場合はアンカー体長を長くするだけでなく、アンカーの軸力が先端近くまで有効に伝わるように、鋼材の断面を大き目にするなど、アンカー体の剛性を高めるような配慮が必要かと思います。

百瀬 仮設といっても最近の私の方のはもう仮設ではないのです。4年、5年もおかなければならなくなっています。それと定着時の緊張力の問題がありますね。設計荷重でやるのかその50%とか60%でやるのか。本来的には設計荷重で引っ張ってまわりの地盤を締め固めておく方が何かいいような気がします。先程出た非定着長部分を有効に使うにはその方がよいし、腐食防止にもなると思います。

玉野 鋼矢板を用いた山留めなどでは、仮に山留めを變形させて側圧の低下をはかるといった考え方に立てば、變形が許容される範囲内でより小さい割合で緊張力を与える方が安全な山留めになると思いますが。私が設計した例では多少そういった意味で確認試験として設計荷重の1.2倍までかけて、0.85倍で定着する方法を行いました。山留めとしてどの位で定着するのがよいか分かりませんが。

百瀬 もちろんその場合には再緊張できるような構造が必要ですね。今のですと自由長で再緊張の効果を持たせますので定着部と同じようにモルタルを詰めてしまうのは好ましくない。定着力をどの程度にするか難しい問題だと思います。

鷹野 私の経験ですとアンカーを始めました10年以上前には、少々擁壁の變形を許してもいいという条件があったこともあり、設計荷重の30%とか50%の荷重でおっかなびっくり定着しておりました。だんだん経験を重ねてくるに従いまして大体標準的にはほとんど設計荷重に近いもので締め固めているのが実情だろうと思います。ただ地震時のことなどを計算上特別に考慮するような場合にはまた別だと思います。

玉野 軟弱粘土地盤での山留めに限れば、緊張力を与えすぎることによって背面の軟弱粘土を破壊させるような状態が起こらないとも限りませんし、そういった報告例もありますので緊張力を決める際にはこういった点にも注意が必要です。

鷹野 粘土層中に定着するアンカーの場合、昔は土の破壊強度以上の圧力で一次グラウトを加圧しなかったのですが、むしろそれ以上の圧力で加圧した方が大きな耐力がとれるのではないかと徴候がかなり出ています。現にドイツあたりでは一次注入を終わって二次的に加圧してやると粘土地層のアンカー耐力が出るとはっきり言っています。

近藤 ドイツの例は沖積粘土なのでしょうか。

鷹野 それが多少問題で、沖積粘土ではないみたいです。むこうの方は沖積期の粘土地盤にアンカー体を作ることとはほとんどないと思われます。

近藤 ずいぶんいろいろな問題についてお話、あるいはご提案がございましたが、ここで諸外国の動向はどうでしょうか……。

草深 英国、ドイツ、フランスで盛んに研究されているようで、アンカーを主テーマとした国際的な会議もしばしば開催されるなど研究者の層もかなり厚いようです。それから、ドイツでは現場を主体とした研究が幅広く行われており、設計面で興味深い報告が多く参考になるのではないかと思います。

近藤 まだ議論を続ければ1時間、2時間はかかると思いますが、このあたりで一応一とおりのお話をさせていただいたこととしまして、最後に日本アンカー協会の立場から、鷹野さん、アースアンカーの先行きのお話などお願いしたいと思います。



近 藤 氏

鷹野 私個人はそういう展望的な視野を持っておらないのですが、日常業務をとおして最近の問題で未解決な問題を一、二述べさせていただきます。一つは今日問題点として議論されました支持力機構の理論的、実験的な基礎資料が比較的少ないということ、これにつきましては民間はもちろんですが大学、官公庁の方々のいろいろな協力がないとまとまりません。そういった基本的なものと別の問題で私どもの切実な問題としてはアンカーの撤去の問題があります。今日の社会事情とにらみ合わせまして撤去の要望が強いわけです。ある程度撤去方法は実施されていますが、もう一段の改良の余地があるように思われます。その外、地質構造の不安定な山岳方面での永久アンカーの利用が多くなるのではないかと期待しておりますので、本日話題に上ったような問題が今後の研究課題として残されていると思われれます。

近藤 どうもありがとうございました。おかげさまでアースアンカーの問題点がかなり浮き彫りにされたという感じでございます。こういう問題はすぐに答の出るものではなく、基礎的な研究、施工データ、あるいはそれ以後の段階でのデータが集積され、次第に答がかたまってくるものではないかと考えております。

今日は大変長時間、いろいろなお話を聞かせていただきましてありがとうございました。これで終わらせていただきます。