

生研公開講座

「トルコ、そして台湾の地震が突きつけた課題」

小長井 一男 (東京大学生産技術研究所人間・社会大部門 教授)

ご紹介にあずかりました小長井でございます。なかなか苗字で、全部教育漢字なんですけれど、覚えていただかない方も多くて。

きょうは、台湾とトルコの地震のいろいろな写真から、あの時で何が起こったかということをお見せして、そのあと、我々がどういふアクションをとるべきかということをご概略お話したいと考えております。

去年、ここの新しいキャンパスがどんどん立ち上がって、引っ越しがまさに進行している最中で、しかも引っ越しのいろいろな雑務を仰せつかっているなかで、トルコと台湾の地震が起きました。トルコの後にギリシャで地震があって、台湾で地震があって、そうこうしているうちに、今度はメキシコで地震があって、もう一回トルコで地震があったということで、地震が立て続けに起きました。皆様の中にもかなり台湾、トルコに行かれています方がいらっしゃると思うのですが、まず最初に、台湾とトルコの地震がどんなだったか写真をご覧になっていただきたいと思ひます。キーワードを一つだけ申し上げておきます。それは「断層」であります。「断層」というのがキーワードである。その断層の変位がいかなるものであったかということを中心にお話をしていきたいと思ひます。

(スライド1)

まず最初に、時間の順序は逆なんです、台湾の地震の話からさせていただきます。

台湾は、ご存じのように紡錘形の九州よりも小さい島でありまして、この中にいくつかの断層が走っております。今回の地震で車籠埔断層という断層が地表に表れました。

この断層はこれを拡大したのですが、この辺り、集々という街付近が震源になっております。この断層が80 km ぐらいにわたって地上に表れたわけです。この断層の存在というのは地震が起こる前からわかっていました。ただ、我々がびっくりしたのは、だいたいわかっていた断層に沿ってこれが割れたのですけれども、こちら辺で急に東のほうに曲がっています。曲がって山の中に向かう形でこちら辺で消えてなくなっている、そういう断層であります。ま

ずここの部分を少し拡大してみます。

(スライド2)

この線が東へ曲がった線の延長線、それがいくつも枝分かれをしています。この線は、この大甲溪という川があります。この川を横切って、この山の中で何となく消えてなくなっている。これと突然離れるように、もう一つの線が表れて、こちらのほうに進んでいます。この線は川を横切ったものですから、ここに滝ができました。それから、この線はダムが横にありましたので、このダムが壊れました。



スライド1

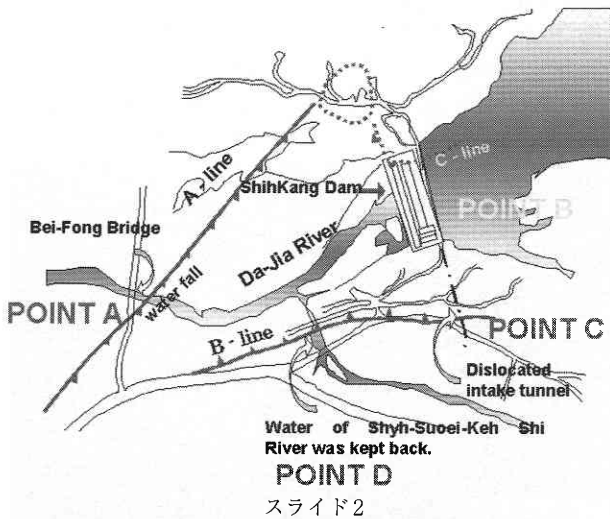
もう一つここに線があるんですが、この線が、ダムから水を取水しているトンネルを横切りました。そしてトンネルがまっ二つになりました。それからここに小さな支川がありますが、Bラインと書いてあるラインと、このラインの間が全体的にもこっと盛り上がりまして、ここで川を堰き止めて、ちょっとした小さな水たまりがある、そういったところをA、B、C、Dとしています、これらの点を見ていこうと思っています。その前に航空写真を。

(スライド3)

これがその拡大図です。まず断層線がこの川を横切って、そしてここへぶつかると。ここで橋が落ちています。ここに滝ができた、ダムが壊れた、トンネルが壊れた、そしてここで堰き止め、ちょっとした湖とは言いませんが、池のようなものができた。まずこの点を拡大してみます。

(スライド4)

ここに高低差4~5mの、ところによると6mぐらい達している段差ができました。ここを流れている川が滝にな



スライド2



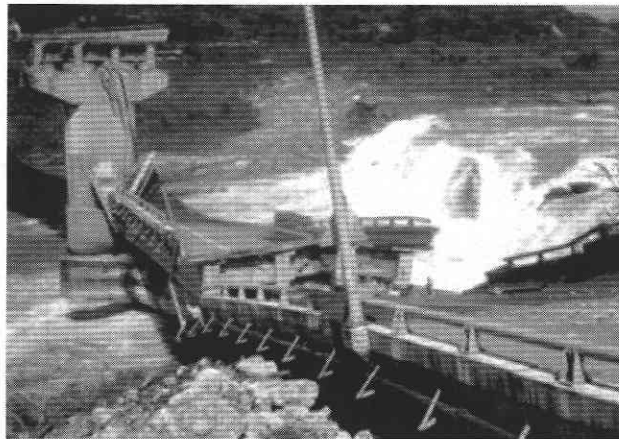
スライド3

ってしまった。当然断層横にあった橋は落ちてしまったということになります。

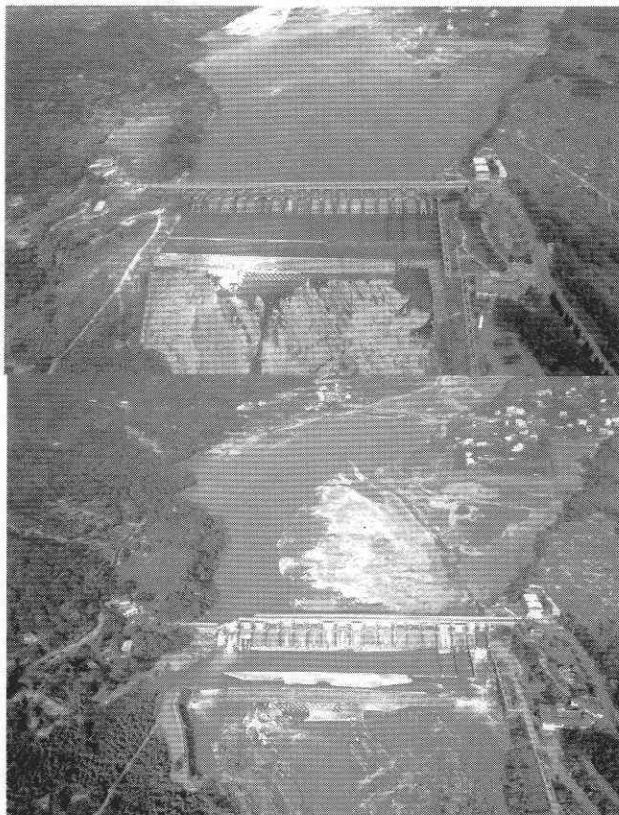
その次がダム、このポイントです。このポイントを拡大しますと、このようになります。

(スライド5)

これが地震が起こる前です。これが地震が起こった後です。地震が起こる前と後と比べてみますとどこが違うかという、当然ここで段差ができています。遠方の方は見にくいかもしれませんが、ここでだいたい9m以上のずれが



スライド4



スライド5

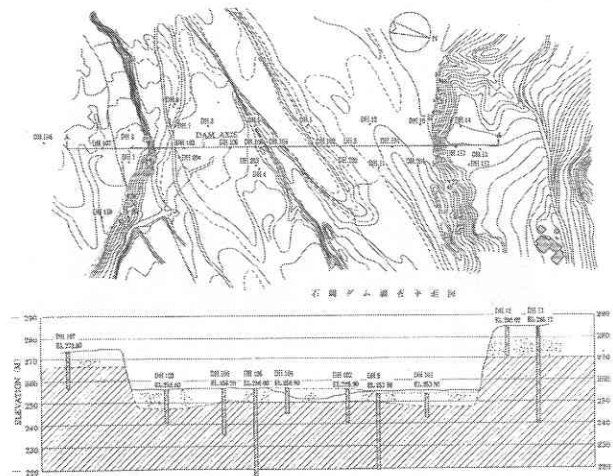
生じています。ですから当然ダムは壊れてしまっています。全体的に川の底が盛り上がり、水の上に突き出してしまいました。ここで、ラインが曲がって、山の中にこのラインがあります。ここでも結構大きな段差、7mとかその程度の差の段差ができています。

(スライド6)

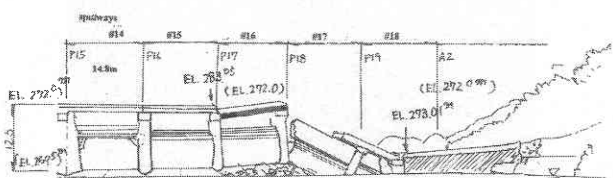
このダムをつくる前に、地表にたまったやわらかい砂を全部さらって、下のかたい岩を出して、その上にダムを乗せています。これは掘りさらった後の岩のでこぼこを表している等深線です。この深さまで川底を掘り下げて、岩を出して、これは第3紀の鮮新世の岩なんです。その上にダムをつくっています。ということで、このダムがどう変形したかということは、その下にある岩がどう変形したかということを表しています。そういうふうを考えている。

(スライド7)

これがダムを後ろから見たものです。ここで段差が9mくらい起こっているわけです。もともと同じ間隔でこういう水門が並んでいたわけですが、したがってこの水門の、これはピアといいます。この一番上のポイントはもともとここにあった。それがここまで下がってますから、方向としては、こちら側の山が下にもぐり込むように、あるいはこちらが競り上がるようになってます。我々はずい、こういう大きな変形のところに注目しがちなんですが、そうでない部分も緩やかに、全体的に少しずつひずみが入っているという感じが、このイラストから見れるかと思います。



スライド6



スライド7

(スライド8)

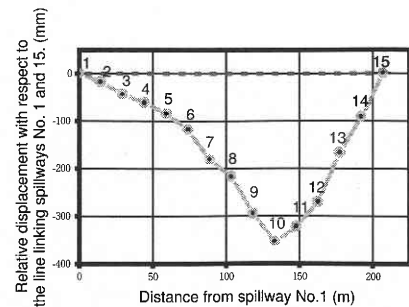
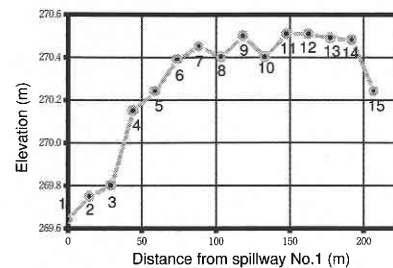
これはダムの上に立って、壊れた側から壊れてないほうをながめたものです。これがもともと真っ直ぐの線だったはずなんですが、全体的に下流側に曲げられています。ということで、断層をはさんでかなりの幅に変形が累積していることがわかります。断層が一本すばと切れるということではなくて、少し幅をもって、その幅の中に変形が累積するということを我々実感いたしました。

(スライド9)

これはダムがどう変形したかということを示したものです。むこうの経済省、日本でいうと大蔵省になりますか、そこの水利処の方が計測したものです。絶対的な変形は非常に計りにくいものですから、1番の水門と15番の水門を直線で結んで、それからどれだけずれたかというのをこ



スライド8



スライド9

ここに書いています。15番からこちらは測れません。測れないというのは全く壊れてしまった所だからで、ここで10mぐらい差が出ています。だからここに書いてあるのは高々40cmとか、その程度のずれなんです。それでもこの幅の中にそれだけ大きなひずみが、要するにこのダムは、こちら側が膨れるような形で下流側に曲げられています。これは上下方向の標高ですけれども、これも上下方向に競り上がるように曲げられています。

(スライド10)

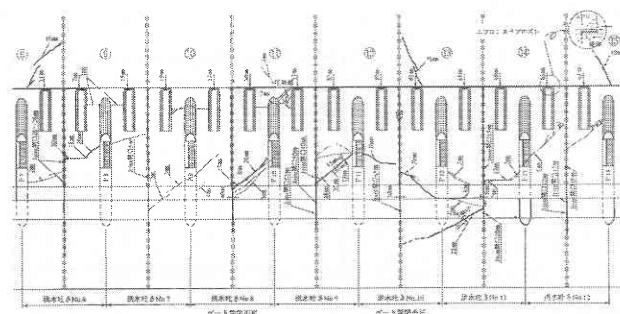
ということで、ダムのコンクリートの塊の中にいっばいき裂が入っています。このき裂を全部スケッチをしてきたものがこれです。このように斜め方向のひび割れがいっばい入っています。これはダムが、上のほうに曲げられたときに起こるひび割れのパターンと考えると非常に説明がつく。ですから、ダムが当然断層でずれて、壊れてしまったということは大事なんです。その前後でも大きなひずみが入っているということが見てとれると思います。

今ダムのお話をいたしました。ここの非常にドラマティックに壊れたところばかりでなく、この前後でも大きなひずみが入るとい話をさせていただきました。

では今度はここの点(Cポイント)についてみます。ここにはダムから水を取る取水トンネルが走っています。この取水トンネルはここで曲がって、この川を横切って、下の浄水場につながっています。ここの点で断層がずれました。もう一度繰り返しますと、ここの線から下側が盛り上がりました。ここの線から上が、要するにここの領域が全体的にほんとに盛り上がりました。ここでどういうことが起こったかという、こういう状況が発生いたしました。

(スライド12)

これがトンネルの断面です。縦に長い馬蹄形のトンネルなんですけれども、これがどうなったかという、ここに断層が走っていました。向こう側が相対的に盛り上がりました。4m近く盛り上がっています。そうすると、こちらのほうが、水没してしまっている。ここを拡大したものがこれですが、ここで、ほんとに切れてしまっている。そういう状況がここで起こっています。



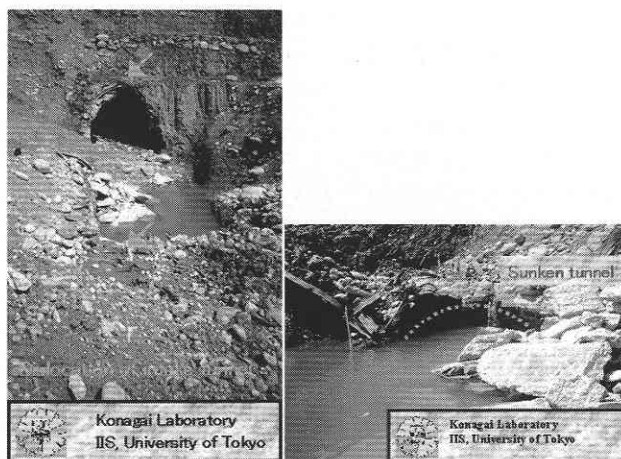
スライド10

(スライド13)

この、先ほど取水トンネルという話をしましたがこれは取水トンネルのダムの側にある取入口です。全体的にトンネルが押された感じがありまして、この壁全体がトンネルのシャフトに押されるような形で、突き抜けて出てきてしまったように思われます。ほんとにパンチアウトされた。そういう状況がここに出ています。

(スライド14)

トンネルの中へ入りますと、ケーブルがみんなたわんでしまっていて、継目のところでコンクリートが落ちてしまっていて、そこでケーブルが大きいたわんでいますので、軸方向に相



スライド12



スライド13

当大きな力を受けたという証拠になっております。だから、ダムで断層が切れた場所ばかりではなくて、その前後に相当大きなひずみが入っているということを、何回も繰り返しますが、ご記憶いただきたいと思います。これはいまのトンネルのクラックをサンマの開きみたいに展開して、クラックのパターンを撮影したものです。

(スライド15)

ここが天井、こちら側が下のほうになります。

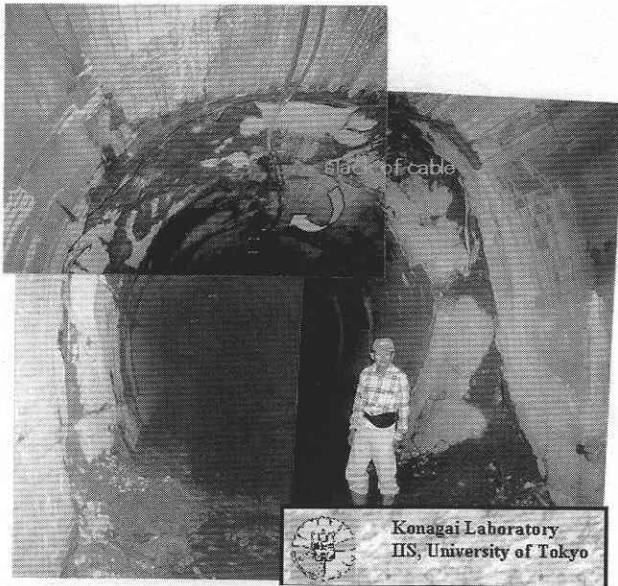
今この点を説明しました。今度はここです。

ここで、小さな川が、大甲溪という川に流れ込んでいます。

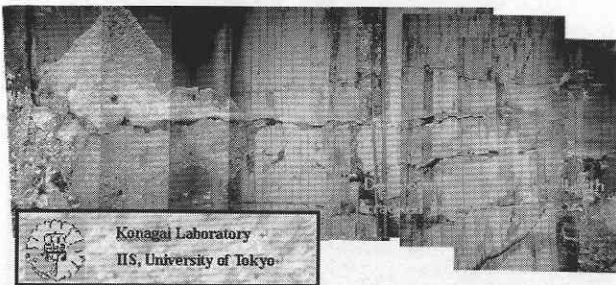
(スライド17)

こここのところで何が起こったかという、こちら側の第三紀の泥岩がほんと突き上がりました。これがほんと突き上がったものですから、この川が流れる場所を失ってしまって、ここに水がたまってしまいました。私たちが行ったときにはここは大変だということで、急いで掘って、水路をつくって、水を流したところです。

ここで注目いただきたいことは、こここの後ろにこの川



スライド14



スライド15

が運んできた堆積層があります。こういう大きな玉石がごろごろ、堆積しています。これもすばっと切れたわけではなくて、この層をひきづりながら持ち上がってます。だからこちら側にある家がみんな向こうへ傾いでしまってます。結構幅の広いところで大きな変形が累積しているということを示しています。

今この断層が曲がった領域の話をもっと長々とさせていただきますましたが、今度はこの場所で何が起こったかという、(スライド19)

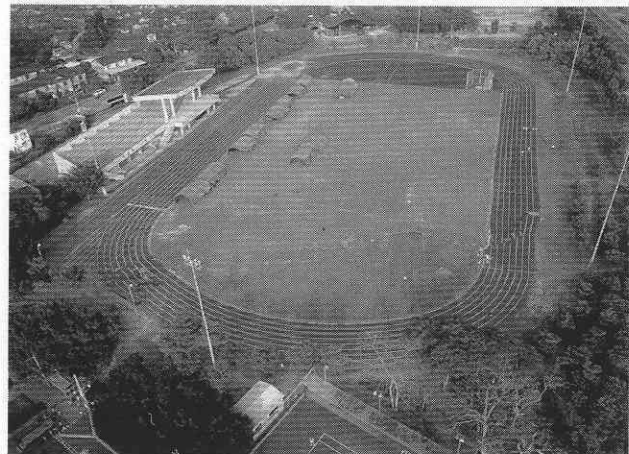
これは新聞なんかで皆さん写真をよく見ているのだろうと思いますけれども、こういう断層がグラウンドを横切って、グラウンドが変形した写真が新聞報道などでよく出ておりました。こここのところを拡大してみます。

(スライド20)

この線がどう曲がったか。このままではわからないので縮めてみます。縮めたものがこれです。縦の縮尺がぐっと縮みました。そうすると、この線がどういう形で地盤が変形したかを表している。このラインは断層が走っているから、ぶつんと切れています。ここは切れていて、ここでまたつながってしまっています。切れたりつながったり、切れたりつながったりが連続して表れます。このラインが、ちょうどこの辺りですが、大きく外側にふくれています。ということは、この幅、だいたい30mぐらいある。この30mの幅で地盤の中にひずみが累積しているということを表しています。ちょうど我々と調査に行った三浦さんと



スライド17



スライド19

いう方に立っていただいて、この延長線を引っ張っています。そうすると 28 m の幅で、だいたい 70 cm ぐらい地盤にひずみが累積していることがわかります。

(スライド 21)

こういった少し幅をもったところにひずみが累積するのは、どういう地盤だろうかと、断層のずれたところを見ますと、断層というのは、ちょうど断層地形というのは山と平野の境に非常にたくさんあります。例えば神戸なんか後ろに六甲山があります。そこにたくさんの断層が走ってますから、片方がどんどん上がっていきますから、あそこに平地と山の境ができます。そこに川が流してきた土砂がたまりますから、えてしてこういう大きな石がいっぱい、断層がずれやすいようなところにはたまっているということです。こういう状況を少しご記憶いただきたいと思います。

今度は、その前、8月の17日に起こったトルコの地震の写真を少しご覧にいます。

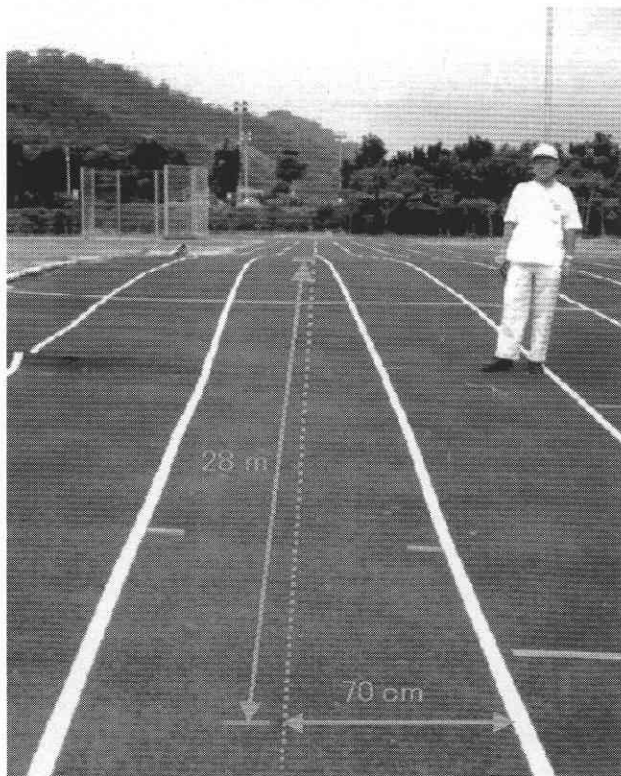
(スライド 25)

トルコの地震は、アナトリア断層というものが大きくずれました。こちら側がイスタンブールです。こちら側にアンカンがあります。この断層地形で谷になっていて、ここにマーマラスという海が入り込んでいます。最初に、この場所にジョルジュクというまちがあります。その断層がどう割られたかをちょっとご覧になっていただいて、ここに東・西の方向に断層が走っていて、その枝分か

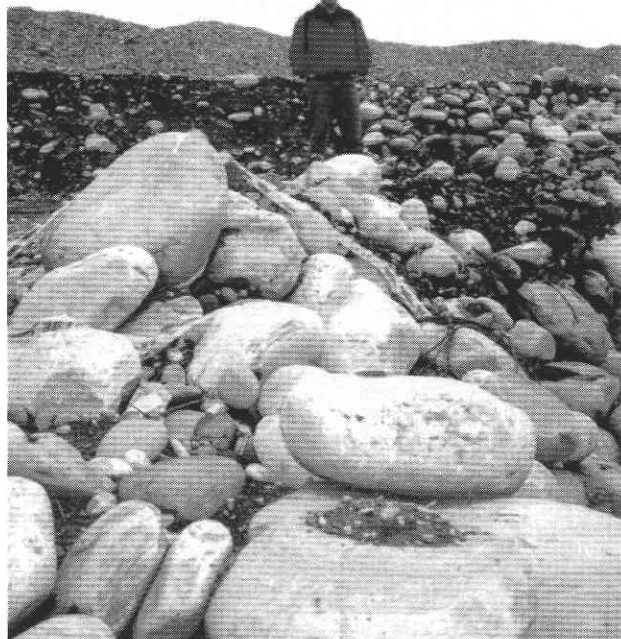
れた断層がこちらに入っていて、その海側が沈んでしまいました。沈んでしまったので、ここが全部水没してしまいました。こんな状況です。ここで 2 m 近い段差が出て、こちら側は水没した側です。ここでもある程度の幅をもって、切れたところばかりではなくて、前後にひずみの変形が入っている様子がわかります。

(スライド 27・28)

埋まっていた杭なんかも引き抜かれてしまっています。



スライド 20



スライド 21



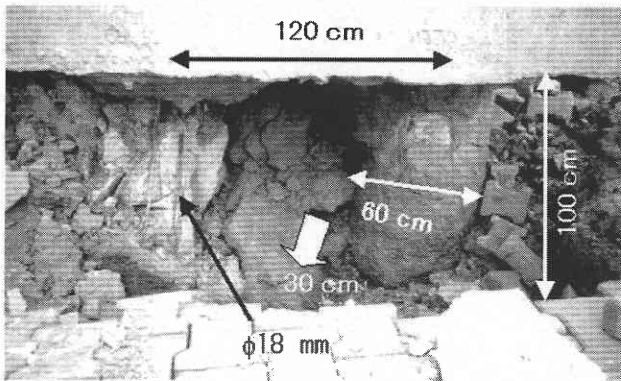
スライド 25

これも同じ町の中の断層ですが、一本の線ではありませんで、何本かの線が並んで走っていました。1m ずれて、3m 近くずれて、この壁は少し時計方向に回転しています。(スライド 29)

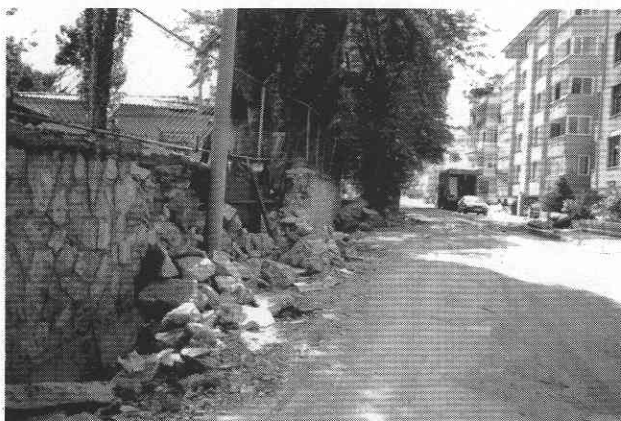
川の線も曲がってしまって、ただちょっとご注意いただきたいのは、この前後、断層をはさんだ向こう側の奥の家はあまり壊れていない。

ちょっと前へ戻ります。ここに断層が走りました。この延長線はめっちゃめっちゃです。ところがこの後ろの家は、中はひどいですが、見掛けはあまり大した被害がない。(スライド 31)

今の断層線から 20m ぐらい離れたところですが、この手のはいくつかあったのですが、これはマンホールの鉄のふたです。これはもともとまん丸です。まん丸なふたがはまっていたコンクリートのマンホールは、まん丸なはずだったわけです。ところが、ここで楕円形に曲がってます。ということは、地盤がこれを楕円形に曲げるくらいひずんでいるということです。もともと 78cm の直径のものが、ここの楕円は短いほうで 60cm、長いほうで 80cm に引き延ばされています。だからふたがはまらなくてぱんとはね



スライド 27



スライド 28

あがった、かどうかわかりませんが、はずれてしまったわけです。そういう状況がここで撮影されているということで、断層は、この楕円の主軸の方向に対して 45° の方向、東西方向に走っています。ですから断層の走った方向の斜め 45° 方向に延ばされたり縮められたりということが起っています。

(スライド 33)

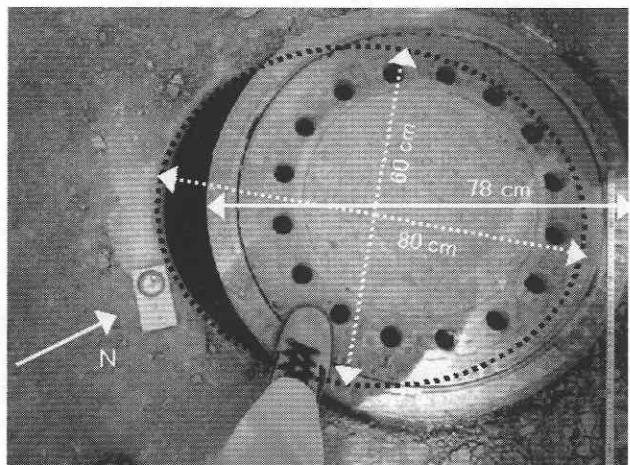
ここでも曲がっているのですが、赤が断層で、これがフェンスの曲がった形状です。注意していただきたいのは、こんなすぐそばにある家がたっているんです、そのまま。これはべた基礎といえますか、建物をそのまま地面の上に置いただけの構造です。だから下の地面が曲がっても滑ってしまい、あるいは剥離してしまい、上は何ともない。この家も何ともありません。

(スライド 34)

ところが、ここに納屋がありました。石を積んで、半分地下に埋まっているんです。その上に木の屋根を組んでい



スライド 29



スライド 31

た。これは推測ですが、断層の近くですから地盤が曲がって、ひずんで、上に乗っていた屋根にひずみが入って、そしてバキバキと壊れてしまった。そういう状況だろうと思っております。さっきのマンホールも、いまの半分埋まった納屋も、地面の中に埋まっている構造というのは断層のそばでひずみが入ると壊れるということです。

(スライド37)

トルコの地震が8月の17日に起こって、またその延長線上で11月の12日に地震が起こりました。その後どうなったか、写真を撮ってきたのですが、これも断層なんです。断層なんです、こちら側が向こうへ動いて、これがこちらへ動いています。どこか、劇的に切れているかという、そうではないんです。これはこの幅広い中に、この赤い線を見ていただければ、こんなふうに敷石、タイルといいますがそれが曲がっている。これだけのことで、ところがこれが、もうちょっと先へ行くとどんどん集中していきます。集中して行って、ここではもうほとんど一本の線になってしまっています。そうすると、道がここで、こちらへずれていますが、ここが断層の端。この断層の上にある家がみんなバタバタ、バタバタやられてしまっています。



スライド33



スライド34

(スライド38)

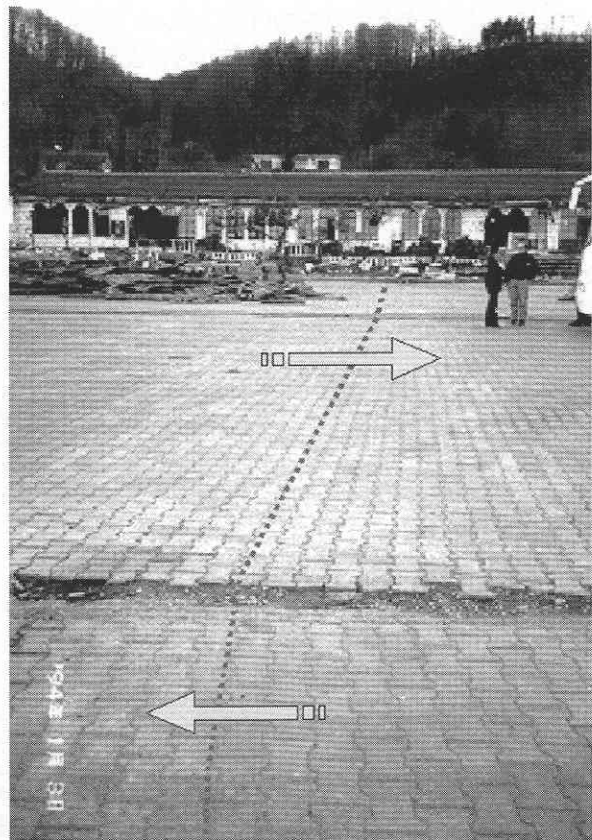
この家なんかは、ちょっとした傾斜地に建っていたのですが、ここのフェンスが、ここで3mぐらい、ここで2mぐらいずれています。ちょうどこの上にあった運の悪い家です。

ということで、駆け足で、本当は写真でまだいっぱいお見せしたいものがあるのですが、台湾とトルコの地震の断層がかかわった被害についての状況を見ていただきました。

ちょっとまとめます。

断層というのは一本線ではありません。枝分かれしたり、時には明確な線にならずに、ある地域にひずみが全体的に分散する。そういう複雑なものであるということをおわかりいただいたと思います。

実は1972年にアメリカのカリフォルニア州で、断層の



スライド37



スライド38

上に家をつくるのを規制しようという州法が制定されています。家とか橋とかそういうもの。じゃあ、日本とか台湾というところでそういうことをやろうかという、実はさっき言ったように、日本というのは千々にこの国は断層で細切れになっています。そうすると、この断層が明確に現れているというのが非常にわかりにくい。そうするとなかなかそういう対応はとりにくいということで、我々土木学会で、どういう対応をとろうかということで、今新しい委員会を立ち上げようとしております。地震工学委員会という委員会がございまして、その中に「断層進展及びこれに直接関連する被害研究小委員会(仮称)」を立ち上げようとしています。土木学会関係の方々のみならず地盤工学、建築等々の方とも相談して協力をしたいと思っておりますし、それから、これはトルコと台湾という外国の地震が絡んでいますので、向こうの研究者とも情報交換して、断層を避けてつくらないようにしようというのはいいのだけれども、そればかりではとても対応ができないということで、何かいい手だてがないかということで考えようとしています。

この委員会の趣旨は、トルコのいろいろな研究者の方々、台湾の研究者の方々に伝えてありまして、向こうからも協力をしていただける、そういう状況になっています。

あわせて、これは私のプライベートなことに近いのですが、ここの研究所でも科学研究費の援助をいただきまして研究プロジェクトを始めようとしています。その中で、私のほうの研究に協力していただけるということで、東大地震研の堀先生とか、生研の目黒先生あたりがいろんな数値解析をしています。その数値解析の一端をちょっとご紹介したいと思います。

何の数値解析かという、断層をまずどう変形するのだと。それは非常に難しい話なんです、都市がある場所というのはだいたい表面に、さっき言った玉石が含んでいるような、どっちかという、岩に比べればやわからい層が堆積しています。だから下の岩がずれても、それが地表にそのままあるかどうかわかりませんので、じゃあどういふふうでそれが分布するのだと、そういうことを予測する方法はないか、それが一つの研究のめざすところになります。(スライド 40)

これは堀先生がシミュレーションされたものですが、まずこんな実験をやっておられます。

ここに、薄いゼラチンの円盤を置いてやります。下の筒みたいなものが、そのゼラチンの下にねじれを加える。どうひび割れが入るかというのを見ています。ひび割れは最初、細かいひび割れがちょこちょこ、ちょこちょこ入ります。そのうち選択的に、これは全部ではなくて一つおき、ある周期をもってそれが発達していきます。さらにもうちょっと進むと、発達した中のまたさらに一つおきという感

じで、大きなひずみが集中している。最後にはどこか一本大きなひずみが現れた。

それを写真で見ていただきますと、最初に細かい、ちょこちょこしたゼラチンにき裂が入ります。これは下をまわしてきますから、ゼラチンの面の下から入ってきます。これは全部が発達するのではなくて、一つおきとか、3つおき、2つおきとか、そういう間隔でそれがどんどん大きく発達していきます。さらに大きくなって、この全部が同じように発達するかという、またこれは選択的に、大きなき裂が発達する。最終的には、こういういくつかの主要なき裂が飛び飛びに、雁行状断層というのがありますが、そういう形で表れます。こういったものを、だからここは一本の線ではありませんから、ここを避けて通るなんて簡単なことはできないわけです。それを数値計算なんかで追っ掛けようとしています。

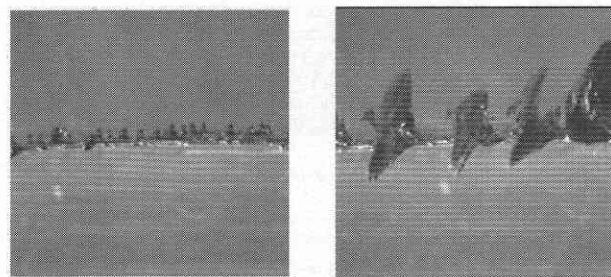
(スライド 41)

下のベース、岩ですが、これをずらして、その上にこういう有限要素の塊をのせまして、これの変形のパターンを見ようと。ただそのままやりますと、たぶん真っ直ぐな線で切れてしまいます。それがいかにこういう、さっきも言ったような線が流れるかというシミュレーションを堀先生がやっておられます。

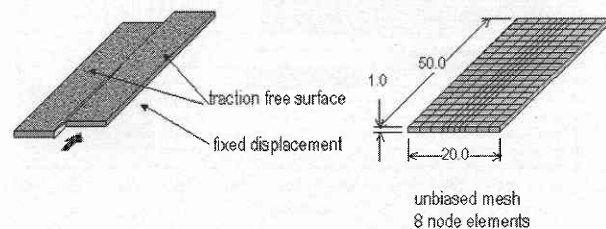
具体的には確率有限要素法といって、あるパラメータをばらつかせる。ある統計的なものをばらつかせるということをしています。そして雁行状の断層のシミュレーションができそうだということを研究しておられます。

(スライド)

今断層を上から見たシミュレーションの例をお見せしま



スライド 40 (東京大学地震研究所 堀助教授 提供)



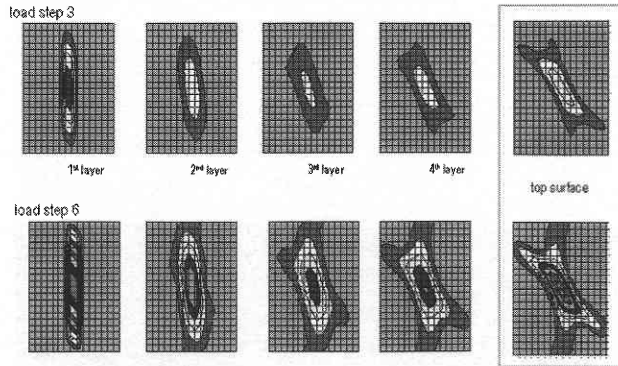
スライド 41 (東京大学地震研究所 堀助教授 提供)

したが、ここの生産技術研究所の目黒先生は、ご自身が開発された AEM, アプライド・エレメント・メソッドという方法を使いまして、下の岩をずらしたときに、どうこれに変形するかというのを解析し始めておられます。

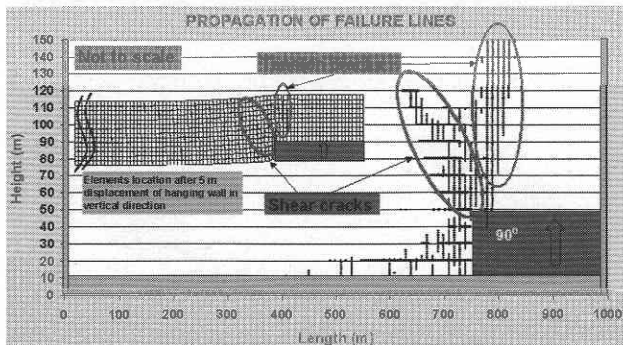
(スライド 43)

AEM というのはこういう細かい紙吹雪みたいな、1 個 1 個の要素を全部紙吹雪の四角の周辺に細かいバネをいっぱい付けて、どう切れるかというのを解析する。ただ、この紙吹雪が、物理的な個体としての実態を持っているということではなくて、その周りにくっついているバネの位置を表すという、ちょっと凝ったものです。そういうことをしますと、結構このせん断き裂がこちらのほうにわっと、これは上下に 90° まっすぐ上がったものですが、発達する様子と、それからここは引っ張りが入りますから、開口き裂ができて、縦に引っ張りのき裂ができる様子がシミュレーションができるということのようです。詳細は下で展示しておられるようですから、ご覧になっていただければと思います。

こういった数値計算、結局全部に共通することは、下にかたい層があって、上に都市部というのはやわらかい層が必ずありますから、そのやわらかい層がどの程度の範囲変形するというのをまず把握しておく必要があるだろうということで、こういう研究をしているわけでありませう。



スライド 42 (東京大学地震研究所 堀助教授 提供)



スライド 43 (東京大学生産技術研究所 目黒助教授 提供)

あわせて、今のような断層、下がずれたときに、地表の揺れというのは非常に複雑になります。その地表の揺れの、今度は動的なものですが、そういったものをどう表現するかということで、少し実験的なアプローチも始めてみようということでやっております。

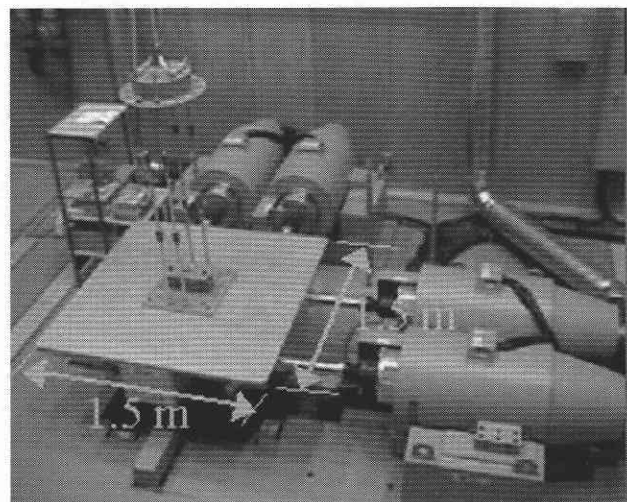
(スライド 44)

きょう私の講演が終わった後、下の振動台を使ってシミュレーションをしてみようと思っておりますけれども、ここにある振動台、これはアクチュエーターが、テーブルがあって、これに模型を乗せて、揺するというものですが、8本のアクチュエーターで、水平2方向、上下方向、さらに回転を入れて実験しようということを考えています。

なんで回転が必要かということ、断層の近くで非常に複雑な動きがあるということとあわせて、建物自体が大きく揺れて、それが根本をまわそうとする。その影響も反映してやろうと。そういう複雑な実験ができるようなことを考えようということをやっています。ですからこの振動台が、水平度ばかりではなくて、この程度回転することも可能です。

ちょっと戻りますと、終わった11時50分からと13時半に模型をのせたちょっとした実験をします。ただ、これは、模型を壊すわけにはいきませんので、非常に小さな振動でやります。ただ、そのときにどういう動きが起こるかということを見ることができる。ただ、それではちょっと動きが小さいですから、3時と4時に、あるいはこの後随時できると思いますが、実際に皆さん振動台に乗っていただいて、神戸地震の、最初は30%ぐらいからじわじわと始めますけれども、30%ぐらいから始めて50%、できれば70%まで体験していただこうかと。そうするといかに神戸の揺れがひどかったか、断層近くの揺れがどんなだったかということがわかりいただけたらと思います。

こういった実験、これは揺れにかかわる実験です。それ



スライド 44

から、もう一つ、先ほどの数値シミュレーションは、主に変形の話をしていました。変形が、地盤の中にあるトンネルとかそういう構造で変形でやられますので、変形を解析する必要があります。

先ほども言いましたように、キーワードは、やわらかい地盤なんだけれども、こういう礫をいっぱい含んでいるということです。こういう地盤の変形を数値解析するときの構成則といまして、どう変形するかというルールをプログラムに教えてやらなければいけないわけですが、それを実験で確認していかなければいけない。そのために我々がとっている方法をちょっとご紹介いたします。

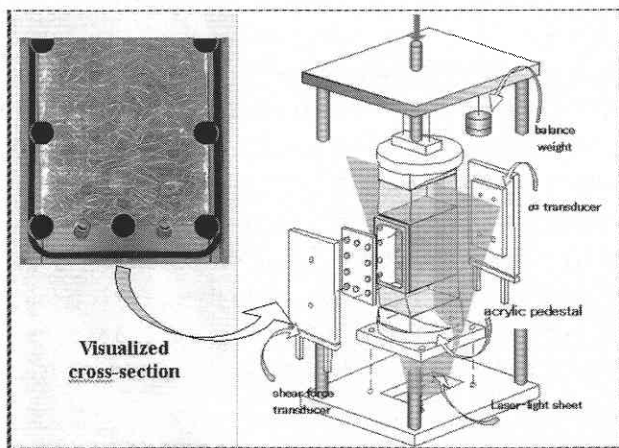
これはもう 10 年前からやっている実験なんですけれども、水槽にガラスの粒子を入れます。ただ、この中に入っている水は水ではありませんで、2つのシリコン油を混ぜたものです。屈折率が同じですから、これは、お風呂の中にコンタクトレンズを落としちゃうと見えなくなってしまうようなものです。ところがそこにレーザーの光をシート状にして入れると、ガラス粒子の輪郭がキラキラ光を散乱して、粒子の輪郭を見ることができます。こうした実験を 10 年間ずっとやっていました。

ただ、これまでの実験というのは、見える見えるで終わってたのですけれども、今度のように断層解析をすると、周りにどういう力が加わってどういう変形をするのだという境界条件をきれいにし解析しなければいけない。あわせて粒粒の動きの情報も、だから両方です。細かい見方、粒一個一個を見るアプローチと、全体がどう変形するのか。その両方が必要になってきます。

(スライド 46)

そのために、筑波大の松島先生という方が、ある装置を工夫してくれました。

それは、通常土質試験で、こういう砂のかたまりをゴムの袋に入れて、上から押しつけて変形を見るということを行います。これは平面ひずみ試験という装置なんですけれど



スライド 46

も、それに我々の方法を使ってやる。そうすれば、どういう力が加わってどう変形したかというグローバルな情報とあわせて個別の粒の動きを見ることができる。そういうことで、こういう装置をつくりあげて、ここの 2 階の実験室に置いてあります。

これは、ガラスも割っただけでは非常にギザギザしてますから加工して粒をまるくして、これを浸すわけです。レーザーを入れて撮影すると、ガラス面から見える粒子みたいに見えますけれども、これは模型の奥のほうの粒子の断面です。こういう粒粒の輪郭を見ることができます。

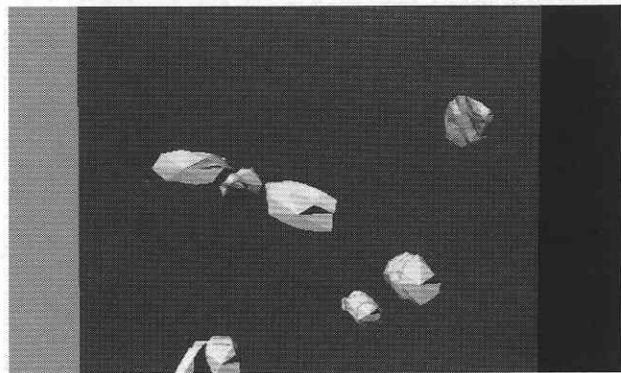
(スライド 48)

あわせて、どういう力が加わって、どう変形したか、粒状体全体としての情報もとることができます。ちょっとこれはざこちないですけど、変形している過程をアニメーションで見ていただいているわけですが、一断面だけ見るのではなくて、これを前後に 1 mm 間隔で細かく刻んであります。光で切断してやります。そうすると、一断面をとれば、こういう輪郭の情報も出てきます。一断面じゃつまらないからというので、いくつもとって行ってやりますと、粒子の立体形状が出てきます。この立体形状を使って、全部立体形状を描いてしまうと結局見えなくなりますから、いくつか選択した粒子がどう動いているか。これは載荷する前、荷重を加えた後、粒子が、塊としてはつぶれて、こういった粒子がだんだん平坦になってくる、立っていた粒子がだんだん寝てくる、そういったものが全部できます。

これは全部数値化されていますから、これを使って粒状体個々の動きを追っ掛けるという、ディスクリット・エレメント・メソッドという方法がありますが、そういったものの入力へのデータにも使えるということで、こういう方法を今検討中であります。

それから、1 個の粒子の輪郭から、その形状を統計的に解析することによって、粒状体としての統計的なパラメータを抽出することができます。

例えばこれは粒子、非常に不規則な形をしています、その中で一番長い差し渡し、それを主な主軸と考えます。



スライド 48

その主軸がどういう方向に向いているか。そういう情報です。それが押されることによって向きがだんだん変わってきます。立っていた粒子が寝ていたりすることで、これは寝ている角度ですが、その分布が載荷の前と後では相当大きく変わります。そうしますと、大きな変形を受けると、この粒状体としての粒子の向きがどっちかにそろってくるとか、いろんなことが起こります。そうすると、そろってくると、物質としての性質、全体としての性質が変わってしまうわけです。そういったことも数値解析で反映して、ちゃんと研究してやらないとうまくいかない、そういうことになります。

ということで、用意した写真類はだいたいお見せいたしました。もう一度繰り返します。今回の地震というのは断層、トルコ、台湾はまさに断層の上にあった。

では、神戸はどうだったか。神戸は地表に、神戸の市内では大きな断層は表れませんでした。だけど神戸は、その下で確実に断層が動いています。ですからその変形が、ある意味では地上に到達するまでに広まりきってしまった。そういうふうを考えればいいと思います。ですから、そういう地表にやわらかい層、礫を含んだ層があったときに、下が動いたときに、どの程度まで変形が進んで、どういうひずみが生じているか。そこに地下鉄やら杭やら、いろんな地下の構造があったときにどうなんだと。そういったシナリオを明確にしていくことが、これから我々に必要な研究課題の一つであると思っています。従来のように、上の構造物が揺れて壊れるというシナリオとあわせて、地盤がどう変形するのか。それが重要な課題だと認識しております。

今日はこういうことで私の話は終わります。ありがとうございました。

【質問】 私、当大学の法学部の出身者でございまして、理工系の話については極めて弱いのですが、今現在南青山のほうに住んでおまして、マンションに住んで直後に、夜中にわりあい大きな列車の音が聞こえるので、山手線の走っている音にしてはおかしいなと思っていましたら、たまたま地下鉄の始発とか終電車の、だいぶ深いところに、ほんのわずか隠れているのですが、それにもかかわらず聞こえてきまして、よくよく考えてみましたら、マンションの鉄骨が、たぶん岩盤の上に打ち込んでくれてあるというように感じておるのですが、先生の今日のお話で、鉄骨が岩盤まで届いている、そういう建物のほうがもちがいいのか、それとも、砂礫層の上に単に置かせてもらっている建物のほうが安心なのか、一番際どいところの話があるのではないかと思うのですが、その辺に関して、少しでも参考にかかせていただければありがたいと思います。

【小長井】 あとの模型実験でもご覧になっていただきますけれども、要するに基礎というのは何なんだと。それをちょっと考えてみたいと思います。まず、下の岩が動いた

ときに地盤が動きます。地盤が動くとき、その中に埋まっている構造物も一緒に動きます。ですから、今、鉄骨が下についているか、ついていないか、浮いているかという話をしますが、基本的には少なくとも地下に若干でも入っている限り地面とほとんど一緒に動いてしまいます。満員電車の中で、皆さんがギュウギュウ詰めになっている状況を想像してください。満員電車の皆さんは土です。その中に自分一人だけが構造物です。自分が動こうと思っても動きはしない。何で動くかという、周りが動くからです。実際杭とかいろんな構造の動的変形を計測しますと、周りの地盤との差はあまりない。ほとんど一緒に動いている。意外にかたいように見えますけれども、横方向には結構動くんです。ですからそういう意味ではそれでどうだということはないのですが、横方向の動きはあまり抵抗しません。ただ、荷重としては、上に乗っかっているものは支えてくれます。そういう意味で、上に乗っかっているものが支えてくれるという機能をちゃんと果たしてもらわなければいけないわけです。そういう意味で杭というものを下に、しっかりしたところまでつけるということをやっているわけです。

逆にまた杭が動くときには、上の構造物が揺れてその杭を動かすこともありますけれども、これはしょうがないというふうに考えています。

【質問】 それでは、ぶっ倒れるとか、そういう心配はそんなにはないということですね。

【小長井】 ぶっ倒れるためにはエネルギーがいります。例えば振動法なんかで、このくらいの加速度がかかれば倒れるということをおっしゃるけれども、実はそんなに簡単ではない。例えば、このくらいのブロックが倒れるのと、大きなブロックが倒れるのと全然話が違う。というのは、このブロックが倒れるためには、重心の位置が数センチ上がればいい。数センチ上がるための運動エネルギーを加えれば倒れてしまう。ところが縦横比が同じスレンダーで構造でも、大きくなると、それを倒すためには重心の位置を、数十センチとか、そのくらい持ち上げないといけない。地震動がきて、どのくらいの速度が加わるかという、せいぜい人間が歩くくらいの速さです。意外に強いようでも、動いている速さというのは人間が歩いているくらいなんです。そうすると、そういう運動エネルギーで、物がぶっ倒れるかという、なかなか難しくなります。もちろん下の地盤が壊れて、大きな変形をすれば別です。

【質問】 建物で倒れるというのは案外大変なんですね。

【小長井】 大変ですね。ただ、倒れます。それはなぜ倒れるかという、下の地盤が壊れたり、あるいは柱が壊れたり。柱が肩肘つくような格好で壊れてしまえば、それはもう……。