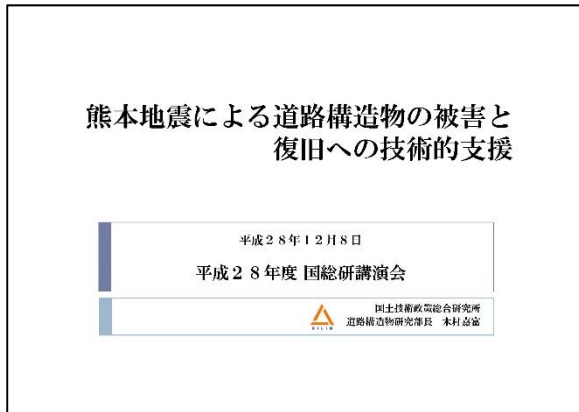


3.8 熊本地震による道路構造物の被害と復旧への技術的支援

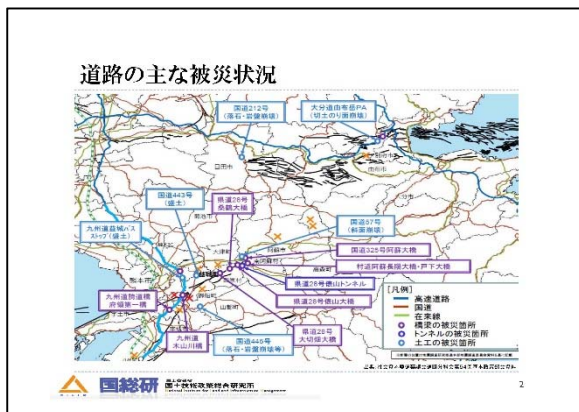
(道路構造物研究部長 木村 嘉富)



皆さん、こんにちは。ただいま紹介いただきました、道路構造物研究部長の木村でございます。よろしく願いいたします。私はこの4月から、前任の真下の後を受けて、道路構造物研究部長を拝命しております。本日ご来場の皆さま方、土木研究所時代より大変お世話になっておりまして、引き続きよろしく願いいたします。私たち道路構造物研究部は、道路構造物全般を所掌しておりまして、4月以降、色々なことが起こっておりま

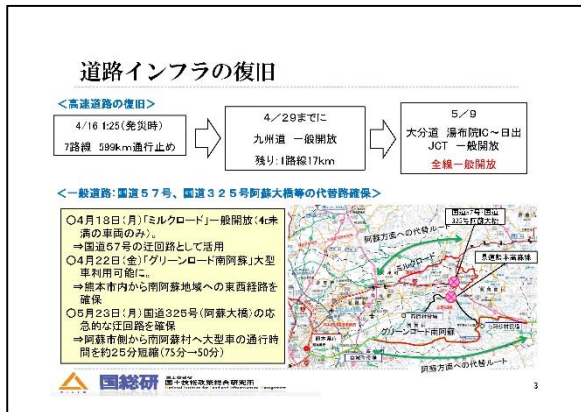
す。今日は熊本地震について紹介しますが、ちょうど地震の直後、工事中の桁が落下するという事故、あるいは、5月の連休のさなかではあったのですが、私の実家、島根県で、落石に大学生が巻き込まれてしまった。また、この後、天野部長から紹介がありますけれど、8月、9月には、台風・豪雨で、道路構造物もかなり甚大な被害を受けております。そのような中でも、10月に舗装の点検要領を定めて、国土交通省から配布されたところです。現在、道路橋、橋の技術基準の道路橋示方書の改訂作業を精力的に取り組んでいるところですが、先般、福岡で道路の陥没も発生しておりまして、幅広く勉強させていただいているところです。

本日はその中から、熊本地震について紹介します。先ほど来、建築の話等を紹介していただきましたが、私からは、道路構造物でどのような被害が起こって、それに対して、その被害から私たちは何を学んできたのかをとりあげます。復旧につきましては、この後、喜安より紹介させていただきます。

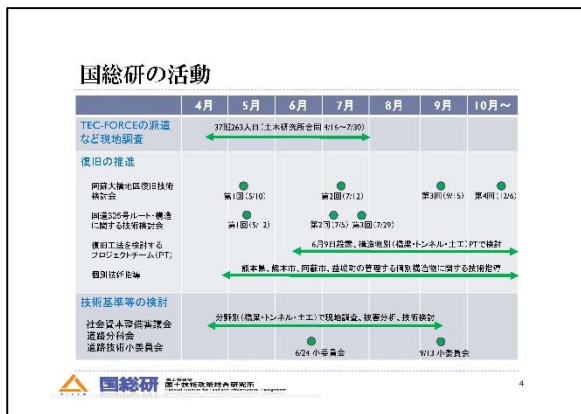


少し細かい図で恐縮ですが、こちらが、道路構造物の被害の状況です。これは熊本で、益城が、この辺りです。こちらが大分の別府です。道路としては、高速道路が南北に通っています。熊本周辺では、断層近傍で高速道路も被害があり、また、大分に向かう高速道路も被害を受けています。直轄ですと、南北の3号線は大丈夫だったのですが、東西の57号は阿蘇の所で大規模な斜面崩落が生じ、いまだに通行止めです。さらには、

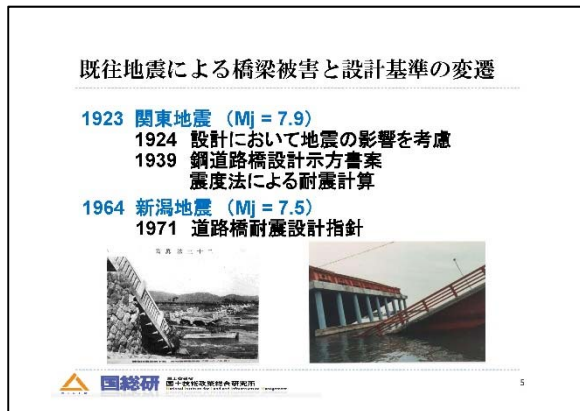
県が管理されている道路、あるいは、市町村が管理されている道路で、断層近傍を中心として多様な被害が生じているというのが全体像です。



このような道路被害に対しての復旧経緯です。地震が発生した直後から、各機関で全力を挙げて対応しまして、高速道路につきましては、連休前に南北の九州道については一般開放しました。ただ、大分については、かなり大規模な斜面崩壊等があり、連休明けまでかかったわけではございますが、2週間、3週間ぐらいで、高速道路については全線開放できたというところです。一方、一般道です。特に阿蘇周辺で、非常に大規模な斜面崩壊等がございまして、国が管理している国道、さらには、県が管理している道路が通行止めになりましたので、う回路として、北側のミルクロード、南側のグリーンロードを4日目に代替路線として確保しました。さらには、阿蘇と南阿蘇を結ぶルートも寸断されておりましたので、緊急的にルートを確保して、1カ月ぐらいでは最低限のネットワークを回復したというのが全体の復旧状況です。



その中で、私たち国総研の活動です。前震発生直後直ちに関係者が国総研に参集し、夜の12時ぐらいに本部会議をやり、翌日からすぐに現地に派遣しました。その中で、本震が起こったという状況ですが、4月の発災直後から7月にわたりまして、のべ37班263人を調査に派遣しました。この様な現地調査に基づきまして、各事業の復旧に対する色々な委員会等に参加すると共に、直轄が復旧する個別の構造物が非常に多くございまして、それについては構造物ごとにプロジェクトチームをつかって、技術相談等対応しています。さらには県とか市町村の橋に対しても、個別に技術相談を行っています。大規模災害発生時の国総研の使命は復旧の推進とともにもう1つございまして、技術基準等の検討です。現場の復旧の推進と共に、技術基準についてもしっかりとチェックし、検討するという機能があります。復旧推進の調査と連携しながら調査をします。社整審の中の道路技術小委員会という所で国の基準は議論していただきますので、そこに2回状況を報告し、審議をしていただいて、一定の方向性を得たというところです。今日はこの技術基準に関する部分について紹介させていただきます。



講演時間が短い中で恐縮ですが、道路橋の耐震設計基準の変遷を紹介します。先ほど建築で、過去の地震から、どのような地震被害があつて、どのような基準を改訂してきたかを紹介されたけれど、私も、道路橋について、本当にさらっと紹介させていただきます。関東大震災。耐震設計をしなかった橋で落橋・崩壊しておりますので、それを受けて、震度法として、0.2程度の水平震度で耐震設計を導入しました。新潟地震では、液状

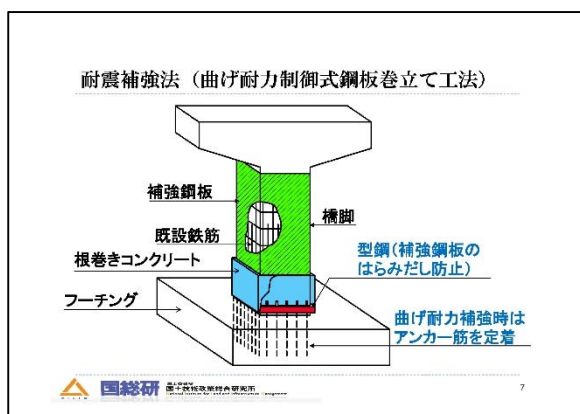
化による被害が生じたので、その後の基準では液状化という現象も考慮して、基礎も地震に対してしっかり強くするような設計法を導入しています。



宮城県沖地震では橋脚の段落とし部でこういう甚大な被害が生じまして、1990年の基準では橋脚設計法として地震時保有水平耐力法を取り入れ、プレート境界型の1Gの水平震度に対して持たせるような設計としています。ただ、そのとき基礎は地震時保有水平耐力の設計は行っておらず、橋脚だけ1Gに対する設計をしております。

1995年、兵庫県南部地震では橋脚の倒壊のみならず基礎でも甚大な被害が起きたので、ただちに復旧仕様をまとめると共に、1年後、耐震設計編を改訂して、従来の1Gに加えまして、直下型の2Gに対して持たせる。さらには、基礎も含めた非線形挙動を考慮した耐力設計法を導入したところです。

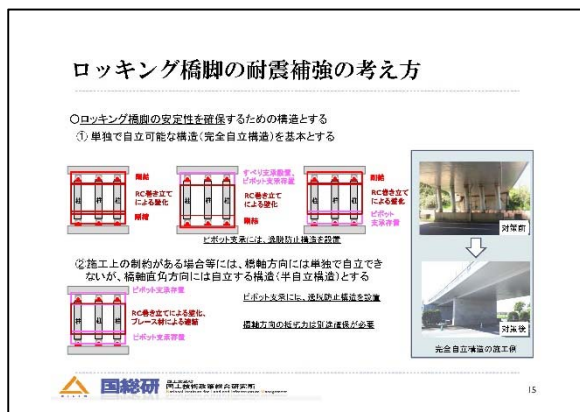
1995年、兵庫県南部地震では橋脚の倒壊のみならず基礎でも甚大な被害が起きたので、ただ



また、この際には、新しい構造物だけではなくて、既設の構造物をどうするのかということも非常に大きな問題になりました。そのときに、曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法という標準的な工法を、当時土木研究所で開発して、実際の事業に展開したところです。名前が非常に長いですが。曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法には、かなり色々思い入れがあります。これは3つぐらい目的があります。1つは、段落とし部、これをしっかり守らないといけ

ませんので、そこのはら巻きをします。それから、全体として耐力が足りませんので、柱全体の耐力を高めるためにアンカーをして、柱の耐力を高めると。ただ、そうした場合には、柱を強くし過ぎると、基礎が壊れてしまいます。そのため、基礎とのバランスをもって、適度に強くすると共に、粘り気を持たせることで、アンカーの本数等を調整し、あとは、はらみ出しをするために、しっか

たというメカニズムです。構造としては極めて合理的ではあるのですが、1カ所やられると、全体的にやられてしまうという構造のものです。



こういう構造は他の道路でもいくつかございます。同じような地震が起きると、また落橋という被害になりかねませんので、ピンをやめて、通常の壁式橋脚にする耐震補強の考え方を示してございます。柱を全体で巻いて、1枚の壁にすると共に、上下ピンだと不安定ですので、しっかりと剛結にして持たせます。ただ、ものによっては剛結するのが難しい場合でも、最低限壁にして、横方向に対しては一定の剛性を持たせようと、こう

いう方法で。これから補正予算等を使いながら、耐震補強は進められるという状況になってございます。

地震で大きかったのが山、地盤が動いてしまって、橋が被災したというのがあります。こちらはコンクリートのラーメン形式の橋梁です。この両側の山が滑りまして、ただ、橋は幸いに崩落が免れました。これはコンクリートの橋なので、施工するときに、柱からだんだん張り出しながら橋をつくっていきますので、施工のために必要なケーブルというのが残っています。そのケーブルがありましたので、橋台がなくなっても落橋は免れたという橋があります。ただし、アプローチ部分の盛り土が大規模に滑っておりますので、復旧には1年は要してしまいます。ただし、落橋はしていませんので、1年で復旧はできるという事例でもございます。この橋以外でも、橋台が沈下したり、基礎が少し動いたりという被害がございました。



建築も同様ですが、橋においても兵庫県南部地震のときに大きく設計法を変えています。兵庫県南部地震以降は2Gという設計なので、これで設計すれば基本的に大きな被害はないかと思いますが、兵庫県南部地震以降の基準であるH8道示を適用した橋のうち3橋で、実質通行止めになった橋というのがあります。こちらについては、今のH8道示、H24道示でいいのかというのを当然検証する必要がありますので、これについてし

っかり調査をしてございます。

設計の意図と異なる壊れ方をした橋の被害

地震後の点検がしやすく、
置換しやすい部材に損傷を発生させるための設計法を導入

各材料の設計上の耐力力

国総研 国土院 国土院 国土院 国土院

全体としては地震動で大きく壊れていないですけど、よく見ますと、局所的に改良したほうがいい所等があります。大きな地震に対しては無傷というわけにはいきませんので、今の設計法は、橋脚の基部を壊して、それ以外は壊さないという設計法にしておりますが、実際には色々なことが起こっております。

制震ダンパーの取り付け部の被災への対応

- 耐震補強のために設置された変位制限構造が下部構造との接続部で損傷し、当該変位制限構造に取り付けられていた制震ダンパーが機能しない状態に至った事例が存在
- 制震ダンパー等の別部材によって支承部の減衰機能を提供する場合は、当該制震ダンパーの機能が確実に発揮されるよう、それが取り付けられる上下部構造の部位はできるだけ地震時に損傷が生じないように留意することを通知

国総研 国土院 国土院 国土院 国土院

これは阿蘇大橋のすぐそばの南阿蘇大橋という橋です。鋼のアーチ橋を耐震補強する際に、本体部材を補強するのはなかなか難しいので、揺れを減少させるダンパーというのを取り付けましたが、このダンパーを取り付けている所が壊れてしまいました。ダンパーの取り付け位置と変位制限構造とが同じ場所になっておりましたので、地震で大きく揺れて、変位制限構造に橋桁がぶつかって、変位制限構造を壊してしまいましたので、結果としてダンパーを取り付けた場所が壊れてしまったと、こういう事例がございました。

実はこういう事例は東日本大震災等でも見られましたので、これを契機に、こういう装置を取り付ける場合には、地震時に何がどう挙動をして、どう壊れて、それに対して何が持つのかというのをしっかり考え、こういう装置系の取り付けについてはしっかりと考えて欲しいと。これについても事務連絡の中で通知したところです。熊本地震に対して、橋としては大きく設計法を変える必要はないけれども、山が動く、地盤が動くという現象、さらには、細部のディテールについてしっかりと検討してくださいを教訓として出したところです。

土工関係被害の概要

地震直後（最大）事業別通行止め箇所数（単位：箇所）

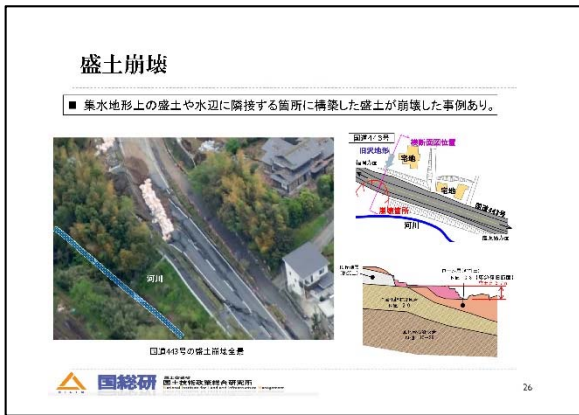
事業	緊急輸送道路	緊急輸送道路以外	計
土工	46 (50%)	47 (50%)	93
斜面崩壊	40 (51%)	38 (49%)	78
切土のり面崩壊	4 (44%)	5 (56%)	9
盛土崩壊	2 (33%)	4 (67%)	6

土工関係被災による通行止め箇所（93箇所）

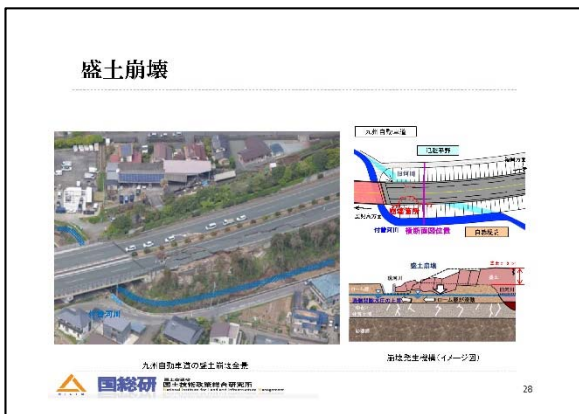
国総研 国土院 国土院 国土院 国土院

次に、土工関係の被害です。橋と同様に、全体の中で被害があったところと、なかったところで示してございます。橋の場合は6弱以上で書いておりますけれど、土工は5強以上で示してございます。これを見ていただくと、橋と全然状況が違ってきます。橋はあるラインだけ沿って被害がありますけれど、土工の場合は広域的にわたっています。さらに、土工の中で、斜面崩壊、つまり自然の斜面が壊れた所と、人工的な切り土が壊れた所、人工的に盛った所が壊れた所でいきますと、人工的に切ったり、盛ったりした所は、ひと桁です。それに対して、自然斜面が79と、圧倒的に自然斜面が多いです。これは当たり前といえば当た

り前ですけど、人が盛る所は、ある程度安定計算をして、安定な勾配にしておりますが、自然斜面は、雨や、地震のたびに、崩れ、かろうじて安定している状態であるわけですので、少し揺れてしまうと、どうしてもこういう崩壊等が生じます。なかなか土工については、自然斜面に対してどう守っていくのかというのは、非常に難しい問題と捉えてございます。



土工のうち、盛り土につきましては、これは県が管理している国道で、河川沿いの盛り土の所がこのように滑ってしまったと。



あるいは、高速道路も同じですけど、旧河道、あるいは、河川沿いの盛り土の所が、下から滑ってしまったと。盛り土については、水が悪さをしているというのが今回も顕著です。

(参考) 駿河湾地震による盛土崩壊の例 (東名高速敷之原地区)

■平成21年8月11日5時7分頃発生した駿河湾を震源とする地震(駿河湾地震)により、東名高速道路敷之原地区で盛土法面が約40mにわたり崩壊。

■要因としては、「盛土下部に使用された泥岩が、長年の水の作用により強度低下するとともに、透水性が低下し、盛土内の水位が上昇した結果、地震が誘因となって崩壊が発生した」と推定¹⁾。

○「東名高速道路敷之原地区地山災害検討委員会」は開催(平成21年8月17日発足)
盛土崩壊について、次の二点を確認²⁾!

1)のり面崩壊は、盛土内で発生
2)当該地は、道路横断方向が凸、道路縦断方向に凹の地山形状で、水が滞りやすい地形・地質条件。
3)盛土内に深い地下水が、
4)盛土の下部に固化した泥岩を、上部には良質な砂礫を使用。

写真1 盛土崩壊状況
※1 地山「東名高速道路敷之原地区地山災害検討委員会」の資料中
※2 資料「東名高速道路敷之原地区地山災害検討委員会」の資料について、中日本高速道路株式
「東名高速道路敷之原地区地山災害検討委員会」の資料を参照。

盛り土と水の関係につきましては、少し前ですが、平成21年、7年前に東名高速の静岡で地震による大規模崩壊がありました。これも水が原因でございまして、盛り土における水の配慮は、1年半前、道路土工構造物技術基準というのを定めましたが、その中で、土工における水の配慮、あるいは、水抜き等については十分配慮して欲しいということを示してございます。今つくっているものは、だいぶそのような配慮ができて

いると考えてございます。

落石・岩盤崩壊

国道212号 大分県臼田市大山町大山山 新道30号 大分県臼田市中津江村 国道445号 熊本県上合村津島津河堤

落石防護柵等で防ぐことができず、路面に岩塊の散在

路面に落下した落石の状況 (落石防護柵あり)

落石防護柵等の間に隙間あり、手締を完全に塞いでいる落石防護柵

盛り土以外で難しいのは、先ほどの自然斜面ですけれど、落石、岩盤崩落が、各地で起こっております。防護柵もありましたが、突き破ってしまった、あるいは、防護施設がなかった所で崩れてしまった箇所もあります。当然落石の防護ネット等が機能したり、シェッドがあったので無被害であったりということ等もございますけれど、土工については、落石関係についてはなかなか難しく、着実に対策を推進していくことかなと思っております。

落石・岩盤崩壊

■適切な構造物対策により、落石による被害の発生を防止した事例あり。

国道210号大分県臼田市天瀬町赤岩
シェッド上方斜面より落石が発生したが、リングネット等による崩落で道路上には到達するものはなかった

補修した護堤

支柱の転倒状況

支柱の転倒状況

リングネットを柱あきでのみ1本のみの

シェッド上まで到達した落石

例用網状況

シェッド上の岩塊

その他 (液状化による被害等)

写真1 ワンボールの浮き上がり及び周辺地盤の陥下

写真2 液状化による考えられる路面陥没

写真3 液状化による電柱の沈下

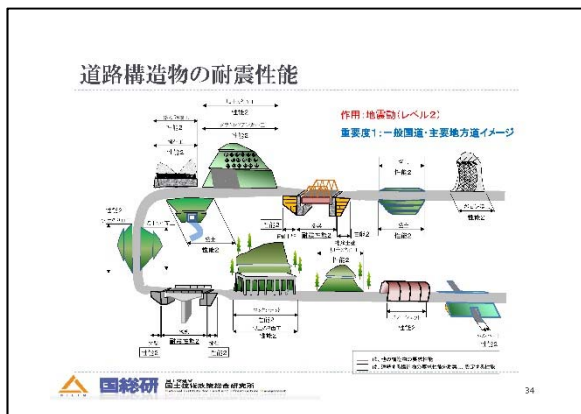
写真4 河川堤防上の浮遊沈下

液状化については、それほど大きな被害ではなかったのですが、一部電柱が真っすぐ沈んでおり、私は初めて見ました。よく傾くのはありますが、写真の地表面近くに番地表示があります。1mぐらいですかね、真っすぐ沈んでしまったという事例等も起こっております。

道路土工構造物の耐震性能

性能	盛土	切土	斜面安定工	参考:橋梁
性能1 地震発生時に、橋梁と同様に、橋脚・橋台・橋桁が損傷を受けず、橋の機能を維持する。				
性能2 地震発生時に、橋梁と同様に、橋脚・橋台・橋桁が損傷を受け、橋の機能を喪失するが、復旧可能な被害に留まる。				
性能3 地震発生時に、橋梁と同様に、橋脚・橋台・橋桁が損傷を受け、橋の機能を喪失し、復旧が困難な被害に陥る。				

いずれにしても、土工につきましては、1年半前の道路土工構造物技術基準におきまして、橋の耐震性能と同様に、土工においても耐震性能1、2、3として、被害がないか、軽微な被害か、復旧可能な被害か、こういう性能を分ける概念は示してございます。



道路機能として見た場合、個別構造物ではなくて、ルート全体としての耐震性のバランス等が求められますので、土工の技術基準においては、こういう概念を出して、橋も含めた道路のルートとしての耐震性能を持たせることを意識して設計することを示してございます。

道路構造物の耐震性能

個別施設 → ルート → ネットワーク

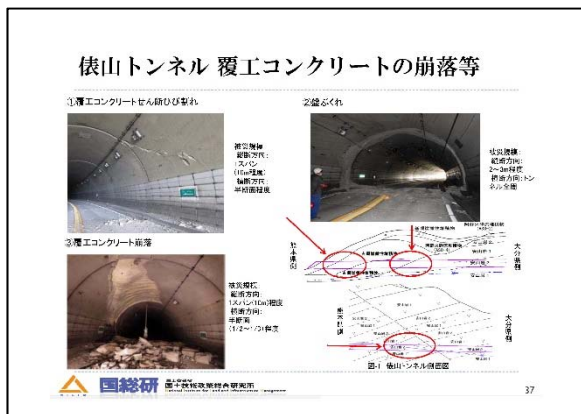
	道路の機能	
	供用性が極力損なわれないことが求められる。	一時的な供用性の制限が許容される。(同等以上の代替施設により、その機能が補完される。)
災害時(1:2地震)	橋:損傷が限定的で、機能回復が速やかに行われる。 土工:損傷が限定的で、道路の機能の一部に支障を及ぼすが、速やかに回復できる。 舗装、附属物、占用構造物:地震動・液状化に対し、損傷が限定的。	橋:落橋等、損傷が致命的とならない。 土工:損傷が道路の機能に支障を及ぼすが、当該支障が致命的なものとならない。(復旧工事により回復) 附属物、占用構造物:人命への影響が懸念される落下、倒壊等が生じない。
維持管理・耐久性設計	補修のためとはいえ、通行止めが許容しがたい。(予防保全)	通行止めをせずに補修することが可能である。

具体的には、道路の機能としては、緊急輸送道路のように供用性が損なわれず災害時もきちんと守るべき橋と、一時的に壊れてもいいけれども早期に直す道路と、道路の性格に分けています。そして、損傷した場合に直しにくい橋と、比較的直しやすい土工と、それらの付属物を含めて、色々な対処のバランス、あるいは、維持管理も同じですけれども、維持管理においても、通行止めたくない道路と、通行止めできる道路、そのような部分で分けるという概念が今できつつございます。

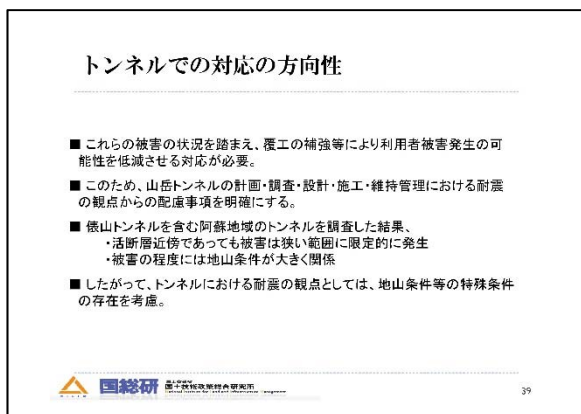
個別の施設からルートとしての設計。実は、さらには、ネットワークとしての概念についても今後取り組んでいかないといけないと考えているところです。



最後に、トンネルです。この地域におきましても、トンネル、数十本あったわけですが、このうち2本で被害を受けてございます。県が管理している道路で、阿蘇のところですけれど、断層の近傍です。そこの2本のトンネルで被害が起きてございます。



俵山トンネルで、大きな斜めのひび割れ、覆工コンクリートの崩落、あるいは、全体の座屈の様なことが生じております。こちらについては、横方向、断面方向に変形したのでしょうか。こちらはトンネルの軸方向に大きく変形したと思います。なぜこの場所で変形して、なぜ他が変形しなかったのかということ調べてみますと、地山が関わっております。もともと山が弱い所でこういう被害が起きたということでございます。覆工が大きく剥落した所では、現在、復旧工事を行っており、もうじき供用できると思いますけれど、その覆工工事のときにはがしてみますと、鋼のアーチの支保工が座屈するという現象が起こっております。局所的にこの部分はかなり大きく揺れたことが見てとれます。



トンネルにつきましては、教訓といたしましては、もともと山というのが問題です。掘っていくときに地山の状況をよく見て、さらには、山の状況を記録しておく、施工時の状況を記録しておくというのが大事と思っております。福岡の陥没事故の中でも、少しそんな議論等がされておりました。施工時の情報をいかに維持管理に引き継いでいくのかと。i-Constructionにも通じる概念ではございますけれど、その辺の伝達が大事というところ

ろです。



最後です。ちょうど阿蘇の委員会の際に現場に行っています。復旧に際しまして、国土交通省が、県管理部分を含めて精力的に進められておりますので、私たち国総研としては、土研と一緒に現場を支援して、一日も早い復興に引き続き努めて参りたいと思います。メールアドレスを書いておきますので、ご意見等をぜひいただきたいと思っております。私からの紹介は以上です。どうもご清聴ありがとうございました。