02
ISSN 0386－5878
土木研究所資料第3021号

土 木 研 究 所 資 料

第24回地質担当者会議資料

平成３年８月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

Copyright © (1991) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は，土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって，本報告書の全部又は一部の転載，複製は，土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第3021号　1991年8月

第24回地質担当者会議資料

地震防災部長　佐々木　康
地質化学部長　小林茂敏
九州地建建設専門官　脇坂安彦
土質研究室主任研究員　三木博史
急傾斜地崩壊研究室主任研究員　西川純一
地すべり研究室主任研究員　近藤観慈
砂防研究室長　石川芳治
動土質研究室長　古賀泰之

要旨

平成2年12月14日に開催された第24回地質担当者会議で行われた次の講演が収録されている。

1. 90年7月フィリピン地震災害
2. 酸性雨とコンクリート
3. 粘土鉱物含有骨材の特性と利用上の問題点
4. 斜面安定度調査手法

キーワード：地質調査・のり面・斜面・ダム地質・フィリピン地震・断層・酸性雨・コンクリート・骨材

ま　え　が　き

地質担当者会議は，昭和42年度より地質調査上の問題点の解明，技術情報の交換および地質調査方法の統一等を課題として開催されており，今回で第24回を迎えるに至った。この間，河川砂防基準（案）・道路土工土質調査指針・ルジオンテスト技術指針（案）・地質調査共通仕様書（案）・グラウチング技術指針・ボーリング柱状図作成要領（案）等，地質調査に関連する基準や指針類の作成に貢献し，また，ダム・トンネル・のり面・軟弱地盤の地質工学的問題点の検討，海外の事例紹介等を行ってきている。

今回も，本省福田積算技術管理官，土研岩崎所長をはじめ，本省，各地方建設局，国土地理院，建設大学校，土木研究所，北海道開発局，阪神高速道路公団，水資源開発公団，本・四連絡橋公団より約60名の参加を得て盛会となった。

今回の会議では，合計４件の報告が行われた。

「90年７月フィリピン地震災害」では，平成２年７月16日にフィリピンで発生した地震災害について，断層変位や地震動の特徴ならびに構造物の破壊・斜面崩壊・液状化等の被害調査報告が行われた。

「酸性雨とコンクリート」では，日本における酸性雨の状況とコンクリートへの影響の有無，土木研究所における取り組み等について紹介があった。

「粘土鉱物含有骨材の特性と利用上の問題点」では，モンモリロナイトを含有する骨材を用いたコンクリートの特性と早期凝結現象のメカニズムについて研究報告が行われた。

「斜面安定度調査手法」では，平成２年度から改定された道路防災点検手法の概要とその留意点について，「防災点検ガイドブック（案）」をもとに説明があった。

ここに当日提出された資料と討議内容をまとめて，今後の参考に供しようとするものである。

平成３年８月

地質研究室長　　中　村　康　夫

目　　次

まえがき …… i
議事次第 …… 1
出席者名簿 …… 2
開会挨拶 …… 4
積算技術管理官挨拶 …… 5
土木研究所長挨拶 …… 7
閉会挨拶 …… 9

Ⅰ．議　　事 …… 11
1. 90年7月フィリピン地震災害 …… 11
2. 酸性雨とコンクリート …… 37
3. 粘土鉱物含有骨材の特性と利用上の問題点 …… 45
4. 斜面安定度調査手法 …… 69
a）落石・崩壊 …… 71
b）岩石崩壊 …… 78
c）地すべり …… 82
d）土石流 …… 88
e）盛土 …… 96
Ⅱ．総合討論 …… 103

第24回地質担当者会議議事次第

1. 日　　時　　平成2年12月14日（金）　10：00－17：00
2. 場　　所　　東京弥生会館（文京区根津2－1－14　☎03－3823－0841）
3. 会議次第

1）開会挨拶 …… 10:00－10:05

土木研究所　地質化学部長　小林茂敏

2）挨　　拶 …… 10:05－10:20

本　　省　積算技術管理官　福田　収

3）挨　　拶 …… 10:20－10:30

土木研究所　所　　長　岩崎敏男

4）議　　事

① 90年7月フィリピン地震災害 …… 10:30－11:15

土木研究所　地震防災部長　佐々木　康

② 酸性雨とコンクリート …… 11:15－12:00

土木研究所　地質化学部長　小林茂敏

③ 粘土鉱物含有骨材の特性と利用上の問題点 …… 13:00－14:00

九州地建　河川部専門官　脇坂安彦

④ 斜面安定度調査手法 …… 14:00－16:40

a）落石・崩壊　　14:00－14:30

土木研究所　土質研究室　主任研究員　三木博史

b）岩石崩壊　　14:30－15:00

急傾斜地崩壊研究室　主任研究員　西川純一

c）地すべり　　15:10－15:40

地すべり研究室　主任研究員　近藤観慈

d）土石流　　15:40－16:10

砂防研究室　室　　長　石川芳治

e）盛　土　　16:10－16:40

動土質研究室　室　　長　古賀泰之

⑤ 総合討論 …… 16:40－16:55

5）閉会挨拶 …… 16:55－17:00

土木研究所　地　質　官　市川　慧

第24回地質担当者会議出席者名簿

開催日　平成2年12月14日

機関名	所属	職名	氏名
本省 (3名)	大臣官房	積算技術管理官	福田　収
	大臣官房技術調査室	補佐	相原正之
	〃	技術管理第一係長	児玉好史
土木研究所 (25名)		所長	岩崎敏男
		研究調整官	河野　宏
		地質官	市川　慧
	企画部	ダム計画官	吉田　等
	地質化学部	部長	小林茂敏
	砂防部	部長	渡辺正幸
	地震防災部	部長	佐々木　康
	地質研究室	室長	中村康夫
	〃	主任研究員	稲崎富士
	〃	主任研究員	海野芳聖
	〃	研究員	佐々木靖人
	〃	研究員	阿南修司
	〃		長沢政和
	ダム構造研究室	主任研究員	及川拓治
	〃		尾畑信之
	フィルダム研究室	室長	松本徳久
	砂防研究室	室長	石川芳治
	〃	研究員	草野慎一
	地すべり研究室	主任研究員	近藤観慈
	急傾斜地崩壊研究室	主任研究員	西川純一
	土質研究室	主任研究員	三木博史
	動土質研究室	室長	古賀泰之
	基礎研究室	研究員	浅井健一
	〃		森　浩樹
	新潟研究室	主任研究員	白石一夫
建設大学校 (4名)	建設部建設企画科	科長	柏井条介
	〃	教官	葛西博夫
	建設第二科	科長	関谷洋一
	測量部	教官	橋本圭三郎
国土地理院 (3名)	地理調査部地理第一課	課長補佐	宇根　寛
	〃	地理第一課	中島秀敏
	地図管理部	研究官	羽田野誠一

機関名	所属	職名	氏名
東北地方建設局	企画部　技術管理課		藤田公典
関東地方建設局 (4名)	技術管理課 〃 河川工事課 道路計画第一課調査係		高橋明男 岩城博幸 一場敏 平本和寿
北陸地方建設局 (3名)	企画部　技術管理課 道路部　道路管理課 北陸技術事務所	基準第二係長 維持修繕係長 材料試験第二係長	本郷国男 坂上悟 小野島守
中部地方建設局 (3名)	企画部　技術管理課 河川部 道路部道路計画第一課	建設専門官	石原慶一 太高芳雄 田中慎次
近畿地方建設局	企画部　技術管理課	施工調査係長	森健作
中国地方建設局 (2名)	道路部　道路管理課 斐伊川・神戸川総合開発 工事事務所	課長補佐 所長	阿土繕 平野勇
四国地方建設局	企画部　技術管理課	施工調査係長	堀本達雄
九州地方建設局 (3名)	河川部 企画部　技術管理課	建設専門官 施工調査係長 基準係長	脇坂安彦 橋村和敏 佐々木敏裕
北海道開発局	開発土木研究所 地質研究室	副室長	鈴木哲也
阪神高速道路公団	工務部　設計課		浜田信彦
水資源開発公団 (3名)	企画部　調査課 第一工務部　設計課 試験所　第三試験課	課長補佐 課長補佐 課長 地質試験室長	大藪勝美 山口温朗 神尾重雄 浦山真次郎
本四連絡橋公団	設計部設計第三課	課長代理	山岸一彦

計59名

開　会　挨　拶

土木研究所地質化学部長
小林茂敏

皆様おはようございます。土木研究所・地質化学部長の小林でございます。ただいまより第24回の地質担当者会議を開催させていただきます。

年末の大変お忙しい折，本省からは福田積算技術管理官を初め関係者の方々，それから，全国各地から地質を担当されております多数の方々が御参加くださいましてありがとうございました。

本会議は，建設省及び関係公団の地質担当者が地質に関係する各種の決議や規定等を定めることができる最高の機関として設立された，伝統のある会議でございます。本日は，地質及び土質，あるいはもう少し大きい話になりますと地球規模の工学に関する最新の情報の交換をするという趣向でプログラムをつくってございます。きょうは積算技術管理官あるいは土木研究所長から御挨拶をいただいた後，フィリピン地震の話，酸性雨の話，粘土鉱物の話，斜面安定度調査の話と盛りだくさんの話題を御披露していただく予定になっております。ゆっくり御堪能いただきたいと思います。

また，最後には質疑の時間も設けてございます。多くの専門家が集まっておられますので，この機会を利用して活発な御討議をお願いいたします。

5時には会議を終了いたしますが，その後は隣の会場で懇親会も設けておりますので，会議ではお話しできなかったいろいろな仕事の話あるいは担当者同士の親交をこの際大いに温めていただきまして，有意義な会議にしていただきたいと思います。

はなはだ簡単でございますが，これをもちまして私の開会の挨拶にかえさせていただきます。

挨　　拶

大臣官房積算技術管理官
福田　　収

ただいま御紹介いただきました大臣官房積算技術管理官の福田でございます。本来でありますと田村技術審議官が参りまして皆様方に親しく御挨拶を申し上げなければならないわけでございますが，よんどころない所用のため出席できませんので，私がかわりに御挨拶をさせていただきたいと思います。

本日は，大変お忙しいところお集まりいただきましてありがとうございます。この地質担当者会議は，地質調査などを中心とした技術的問題を検討すること，あるいは新しい技術開発について情報を交換することを主な目的として開催されているものでございます。また，日ごろの業務につきまして議論したりあるいは相談する機会の少ない皆様方でございますが，この会議におきましてこれを補っていただきたいと考えております。

皆さん既にご存じだとは思いますが，政府は今後10年間で430兆円にのぼる公共投資と，来年は2,000億の生活関連事業など社会資本の大幅な整備・充実に向けて基本方針を日米構造協議などをきっかけとして決めました。建設省におきましても，道路や河川，住宅など社会資本整備の拡充を積極的に図っていかなければなりません。

近年，労働者不足をきっかけといたしまして，建設事業の執行につきましては非常に複雑多岐になっております。例えば，労働時間の短縮あるいは建設事業現場のイメージアップ，それからハードの面ではメトロ化あるいはプレハブ化，ロボット化などさまざまな問題が出ています。そのために建設分野における技術開発及びその導入が今後の建設事業の推進にますます重要な役割を果たすことになるわけです。

建設省におきましては，従来より技術の開発・導入に関しましてさまざまな取り組みを行っておりますので，せっかくの機会でございますので御紹介をさせていただきたいと考えます。まず技術開発，技術革新につきましては，総合技術開発プロジェクト，共同研究制度あるいは官民連帯共同研究などを中心にして実施しております。総合技術開発プロジェクトは，建設技術に関する重要な研究開発課題のうち，特に緊急性が高いもの，研究開発の対象が多数の領域にまたがる課題について本省各局が計画推進の主体となりまして，大学あるいは民間等と密接な連携のもとに総合的，組織的に研究開発をしているものでございます。

共同研究制度は，産・学・官がその保有する技術の特性等を十分生かしまして有機的連携を保ちながら研究開発を進めているもので，各試験研究機関にお願いして課題に取り組んでいるところでございます。

官民連帯共同研究は，民間にとっても技術開発成果に対する公共事業のニーズを的確に把握したり，大規模な研究に際してリスクを軽減するといったメリットがございます。一方，官側が行っておりますさまざまなことのほかに民間主導型の技術開発を行政側が積極的に支援している制度もございます。このための制度としては，建設技術評価制度，あるいは民間開発技術審査証明事業があります。

これらの制度は，民間が研究開発を行いまして，その技術に関しまして公的な裏付けを与えまして，その結果を公表することによって民間における研究開発の促進を図るとともに，建設技術水準の向上を図ろうと

することを目的としているものでございます。これらの制度に基づきまして開発された新技術あるいは先ほど申し上げましたような評価・審査された新技術については，正しい御理解のもとに建設事業への積極的な導入が望まれているところでございます。

また，新技術の建設事業への導入につきましては，技術活用パイロット事業を実施しております。この技術活用パイロット事業は，地方建設局を中心にいたしまして，新技術を建設省の直轄事業に施行し，現場の適応性あるいは効率性，安全性，経済性といったものを検証いたしまして，新技術の活用及び効率的な事業執行をすることを目的としております。

また，技術活用パイロット事業の中でも特定なものにつきまして特定パイロット事業として決めまして，全国的に展開しております。今年度は転圧コンクリートを行っておりまして，この特定パイロット事業を行いまして，設計基準あるいは施工基準，歩掛り等いろんな問題を整理し，全国的に使っていただくようにするわけでございます。今後ともこれらを一層推進いたしますが，地方建設局，公団等の関係機関におきましても，技術開発成果の現場活用を正しく実施していただくようにお願いいたします。

さらに建設事業を適切に実施するためには現場における技術者の育成，活用が必要不可欠であります。このための施策も建設技術開発会議の施工合理化部会を中心にいたしまして検討しています。さらに技術開発を進めていくためには実施体制の整備が必要になり，このための組織として財団法人先端建設技術センターが平成元年度４月に設立されました。先端建設技術センターにおいては，大深度地下の利用開発あるいは施工の省力化，合理化のための技術開発に積極的に取り組んでいるところでございます。

以上，建設省における新技術開発，普及，技術者の養成等についての取り組みを御紹介いたしましたが，今後とも一層推進し，良質な社会資本の整備を図っていくことが我々の使命でありますが，地質に関する技術につきましてもこれまでの実績に示されておりますとおり，内外の大規模プロジェクトや都市の高度利用ジオフロントなど，新たな事業展開に当たってのキーテクノロジーでありますし，技術の高度化の中で地質業務に携わる専門技術者の社会的責任もますます重みを増してきていると認識している次第です。

本日は，いろいろたくさんの議題がございますが，十分討議をしていただきまして，この会が有意義に終わりますようにお祈りいたしまして挨拶といたします。どうもありがとうございました。

挨　　拶

土木研究所所長
岩崎敏男

本日は，第24回地質担当者会議に全国各地から多数の参加をいただき，また本省からは，ただいま挨拶されました大臣官房の福田積算技術管理官に御参加いただきましてまことにありがとうございます。

この会議は12月頃に毎年開催しておりますが，回を重ねまして今回は24回目ということで，長い歴史と伝統を持っております。この間，ダム，トンネル，斜面災害等広い分野にわたり土木地質的課題につきまして検討をしておりました。例えば，最近の関連事項については，ダム関係では，第四紀断層問題あるいは貯水池周辺地すべりの問題，あるいは岩石材料の調査，試験法等に関する問題，一方道路関係では，道路のり面台帳やＮＡＴＭ工法の問題，さらにはアルカリシリカ反応対策や地質・土質調査法，共通仕様書等について討議してまいりました。

またこれからの問題といたしましては，いずれも地域的要素や経験的要素が強いため，このような会議の場で現場の情報を集め，いろいろと多方面の御討議をいただき，基準や指針に反映させることが肝要であるかと思います。

今回，ここに御列席の皆様方は既に十分御承知のことと思いますが，地質に関する課題は非常に多くの業務に関係しております。例えばダムの分野におきましてはダムサイト，ダム軸，ダムタイプなどの決定あるいは掘削線，基礎処理の方法や範囲等々工費や工期に直接関係する事項に重大な影響を与えるのが地質です。

さらに近年は良好な性質を有する岩石，土質材料を所要量確保することが困難になってきております。このためダム事業を進めるに当たってはダムサイトの地質のみならず，貯水池全域にわたるかなり広範囲な地質状況を的確に解釈・判断することが最も重要な課題の一つとなっております。

一方道路関係でも，昨年７月に，福井県の方で発生した岩盤斜面崩壊，あるいは最近では10月，四国の徳島県で発生しました落石の問題，こういう現場では多数の人が犠牲になっておりまして，崩壊予知の技術あるいな対策技術の確立等が強く求められております。これにも地質関係者が密接に関連しております。

以上のように非常に多くの種類の事業や事業を行っている建設省の業務につきまして，その工法，工期，さらに工費までに影響を与えるのが地質に関する判断といえると思います。このように各分野に重要な関係を持つ皆さん方の会議でございますので，本日は十分御審議，御討議いただきたいと考えております。

さて，ここで土木研究所の紹介を致しますが，地質の問題に関しましては地質化学部の地質研究室を中心に他の部も関係しておりまして，ダム部，道路部，砂防部，機械施工部，構造橋梁部，地震防災部等が何らかの形で地質に関連するテーマについて研究を行っております。きょうも大勢の土木研究所の職員が参加しております。それぞれの研究成果を踏まえて十分に御意見を交換していただきたいと思っております。

地質に関する事項は現場の情報が最も重要でございます。地方建設局あるいは関係公団等の方々がそれぞれの現場で経験されております情報を十分提供していただき，土木研究所と協力して各種の問題を解明していくことが肝要かと思います。

本日の課題を見ますと，まず本年７月16日にフィリピンで発生しましたフィリピン地震災害の概要，次に現在マスコミを非常に賑わしております酸性雨とコンクリートの関係の問題，最近の良好な骨材の不足に伴って増加してきております粘土鉱物含有骨材の使用上の問題点，さらには昨年７月に発生した越前海岸岩盤斜面崩壊等が含まれております。岩盤斜面崩壊に関する調査の成果の一つといたしまして防災点検がございます。これに取り入れられており，現在実施中の斜面安定度調査手法の紹介等を行うことになっておりまして，いずれも時期を得た議題でございます。本日皆さんで十分御討議，御審議されまして，有意義な成果が得られるよう切にお願いいたしまして，第24回地質担当者会議の冒頭に当たります私の挨拶にさせていただきます。

閉　会　挨　拶

土木研究所地質官
市川　慧

本日は朝10時から年末のお忙しいところをお集まりいただきまして，熱心な御討議をいただきましてありがとうございました。

地質と申しますと地面から下が主体でございますけれども，極めてベーシックであるということで，いろいろなところにかかわり合いがあることがおわかりいただけたと思っております。例えば小林部長のコンクリートの話でもあまり直接の関係はないのではないかということですが，骨材の問題では非常に関連してまいりますし，粘土鉱物の問題でも，実はこれこそどちらかというとコンクリートの方の研究テーマのような感じでございますけれども，やはり材料という面で非常に難しいものだと思っております。

それから，斜面の問題ですが，これは古くて新しい話で，いろいろ自然を相手にしておりますので，どうしても予定した材料で予定したように自分の理論でつくったという話にはなりませんので，自然のものを相手にするときにある種の割り切り，あるいは判断，あるいはカテゴリー分けというものが必要になってこようと思っております。昨日話題の出ました多摩川の災害でも，我々から見ると少しふにおちないようなことを言っておりますけれども，やはり社会資本に対する投資が非常に大きくなってきたことと，今後のそういうものに対する期待が高くなってきたことの反映であるということだと思われますし，どちらかというと我々自身というプロの中だけでやってきた世界から出なきゃいけないことになろうと思います。

特に地質の現象と申しますのはなかなか定量的な評価が難しゅうございます。先ほど岩石の崩落の指針でも，例えば亀裂の開口の具合という指標があるわけですが，なかなか数量的な指標が出てこない。そうなりますとどうしても定性的な判断をしてカテゴリーに分けるという話になろうと思います。これで一番古くからやっておりますのはダムの岩盤分類で，これもかなり定性的な判断に近くなろうと思います。

そのときに一番必要なのはやはり直感でございまして，我々の方でよく言いますけれども，例えば斜面を見て何か気がつく，気がつかないという話が非常に大事だと思います。何回通っても気がつかなかった人もおりますし，一遍見て気がつく人もいるというのはやはり直感だろうと思いますし，もっと広いことを言いますと，この斜面の安定の防災点検ガイドブックは，見方が違っていたら申しわけありませんけれども，私自身としては，自分が見て危険だと思ったやつは客観的に見ても危険である，というものの論拠づけみたいな形で使っても構わないだろうと思います。これから先，こういう問題に携わりますときに，悪い意味では困るのですが，いい意味での直感力というものを今後とも磨いていっていただけたら，こういう事象についてわかりやすくなると思います。

とかく理論式と数字でものを言っております世界で，こういうふうにカテゴリー分けをして何となく分類して，それもその結果は最終的に直感でチェックするというような世間がございますことをひとつわかっていただけたら，また一つの成果であろうと思います。

ただ，きょう出ましたテーマは非常に難しゅうございまして，これだけで1日議論しても十分間に合うぐ

らいの議題でございました。皆様もこの後場所をかえまして懇談の場所があろうと思いますので，そのときにはもっと本当の話，あるいは自分ではこう思っているけれども，まだ結論として論理的には言えないけれども，自分ではこう思うというような話もあろうと思いますので，またその場で十分意見の交換をしていただけたらと思っております。

本日は，おそくまで熱心な御討議大変ありがとうございました。これをもちまして第24回の地質担当者会議を終わることといたします。どうも皆さんありがとうございました。

I. 議　　事

90年7月フィリピン地震災害

土木研究所 地震防災部長
佐々木　　康

お配りしてあります資料の袋の中に資料１と資料２という抜き刷りが入っております。資料２は10月号の「土木技術資料」にニュースとして載せました地震調査速報でございまして，資料１は土質工学会の会誌である「土と基礎」という雑誌に11月号として載せたものであります。最初に申し上げました資料２の中では，被害の全般的な内容が写真と若干の文章で記してございまして，「土と基礎」の方では，その後集まりました情報を含めて，特に地盤の情報でございますが，ボーリングデータと液状化の危険度に関するものに焦点を当てて，短い文章ですけれども紹介してございますので，後でごらんいただければと思います。

「土と基礎」の89ページ，「地震の規模と被害概要」のところにございますように，地震の発生時刻は90年７月16日の夕方，16時26分でございまして，図－１に震央位置が示してございます。この震央位置はＵＳＧＳが出しました速報の最終値でございまして，この位置と「土木技術資料」に書いてあります震央位置が若干ずれておりますが，「土木技術資料」に上がっておりますのは速報のうちの暫定値で，若干早い日にちに発表されたものが上がっております。その点は「土と基礎」の方が新しい情報になっております。

以下，スライドを使いながら被害の概要とこの地震の特徴的なお話をしていきたいと思います。(以下スライド)

今回の地震で受けました被害の数字を申し上げますと，８月12日の統計で死者が1,666人，行方不明460人，負傷者3,560人，建物の全半壊が10万4,614戸，被害額が724億円という数字になっております。

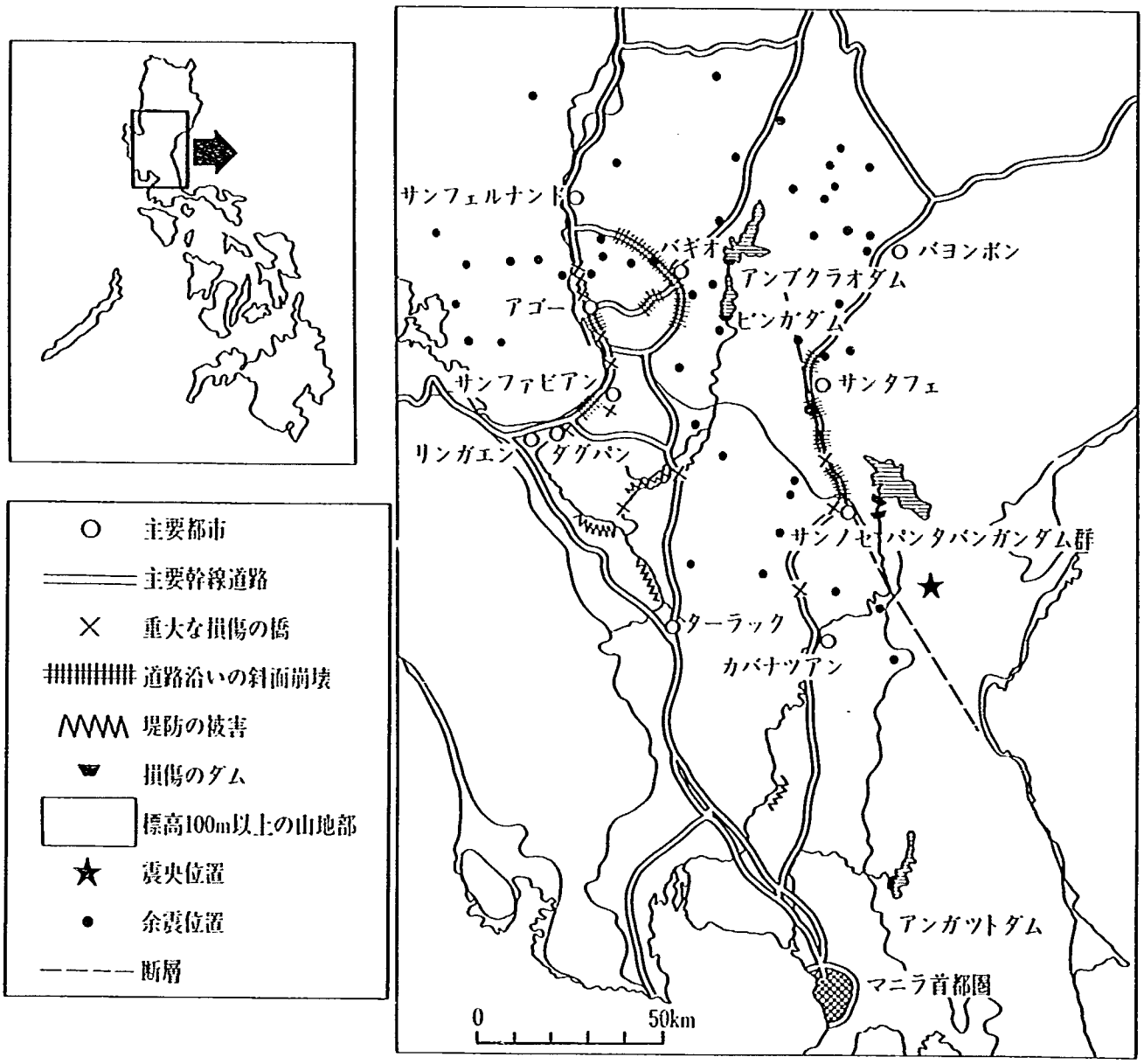
今ごらんいただいておりますスライドは，ルソン島の北の方にありますイムガンという町の北の方ですが，地震の特徴として，地表にはっきりした断層があらわれたことが一つの特徴でございます。（スライド交換）（写真－１）

もう一つの特徴は，先ほど1,600人余の死者が出たと申し上げましたけれども，死者の大部分は建物の倒壊によって下敷きになったり押しつぶされた被害者でございます。この写真は，新聞等でも報道されましたバギオのハイアットテラスホテルでございます。（スライド交換）（写真－２）

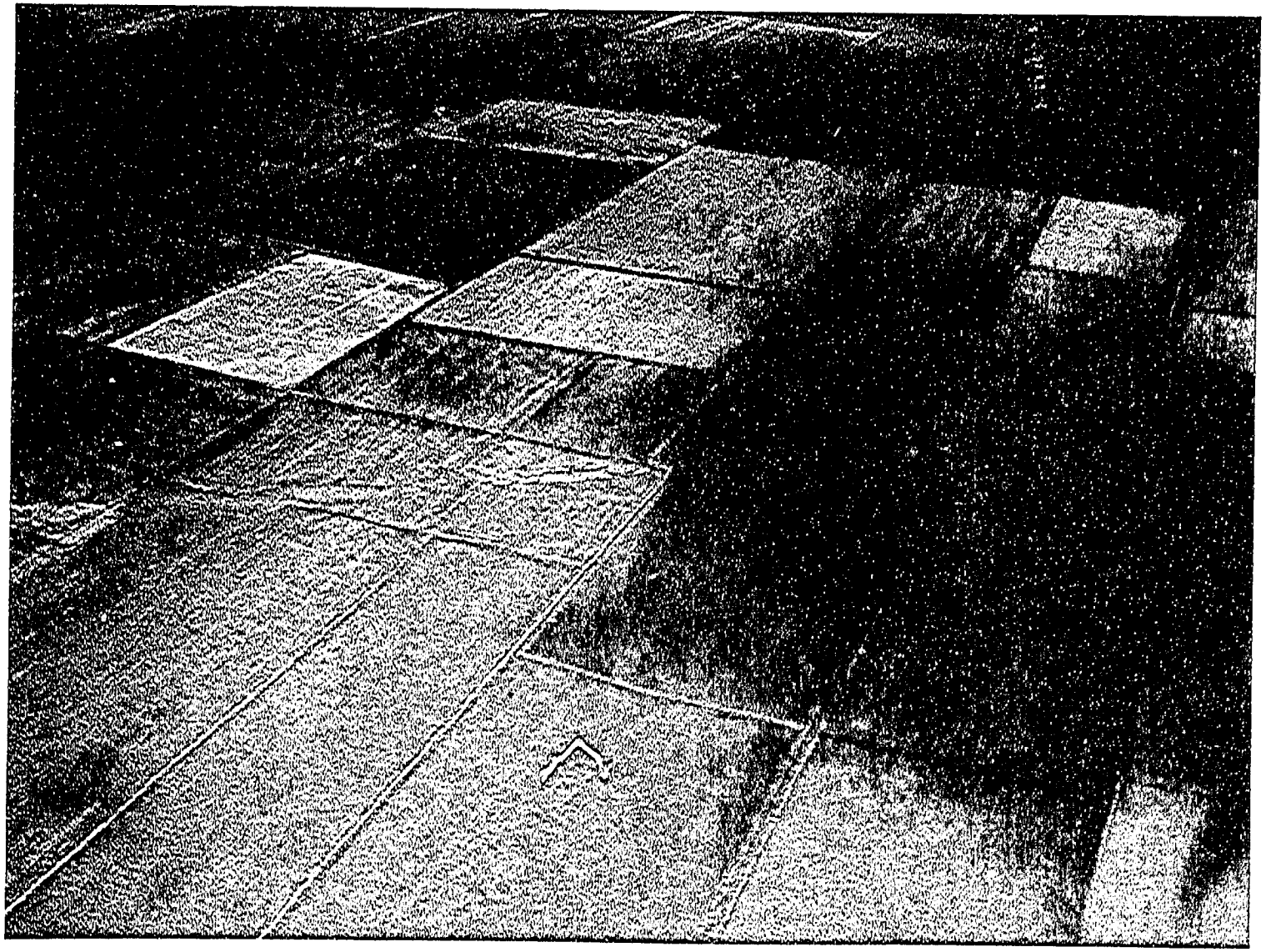
もう一つのこの地震の特徴的なことは，地盤の液状化による被害がたくさん見られたことであります。これは後程もう少し詳しく御説明いたしますけれども，ルソン島の西の方にあります，ダグパンという町で起こった被害でございます。ＮＨＫの特集番組でも報道されましたけれども，建物が傾く，沈下する，あるいはその他もろもろの液状化に伴う被害が出ております。（スライド交換）（写真－３）

四番目の特徴といたしましては，特にバギオに通じる道路を中心に大きな被害を受けましたけれども，斜面崩壊で崩壊した土砂がこの写真ではブエド川を一部埋め立てかけているぐらいの土量が出ている。それから，道路も当然被害を受けました。崩落した土砂のためにこの道路を通っていた人が車ごと流された，埋められてしまったといったようなことで被害を受けたわけでございます。死者の原因は先ほどの建物の被害と斜面崩壊によるものが大部分でございます。（スライド交換）（写真－４）

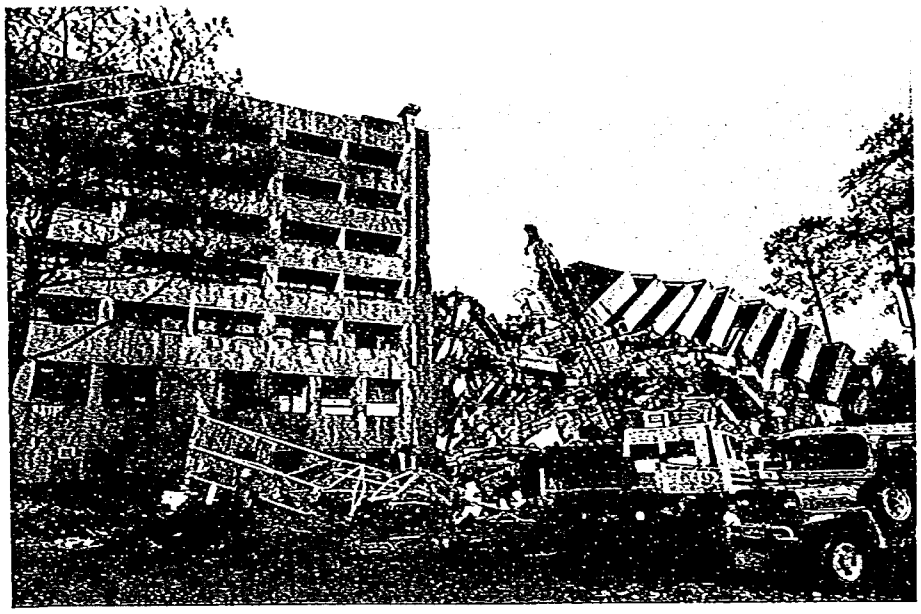
以上がこの地震による被害の特徴的なことではなかろうかと思っております。この地図はルソン島の中央部だけを示したものでございまして，ちょっと色の使い方がはっきりしないのですが，海岸線がこれでございます。黄色と緑の境目は標高100ｍでございます。マニラがここにございまして，震央位置がこの辺になります。約100kmでございます。それから，最初にお示ししましたバギオが標高1,500ｍぐらいの町でございますが，ここら辺にございます。それから液状化被害をごらんいただきましたダグパンがこのあたりにな


主要都市
主要幹線道路
重大な損傷の橋
道路沿いの斜面崩壊
堤防の被害
損傷のダム
標高100m以上の山地部
震央位置
余震位置
断層
サンフェルナンド
バギオ
バヨンボン
アンブクラオダム
アゴー
ビンガダム
サンファビアン
サンタフェ
リンガエン
ダグパン
サンノセ
パンタバンガンダム群
ターラック
カバナツアン
アンガットダム
マニラ首都圏
0
50km

図－1　被害分布図

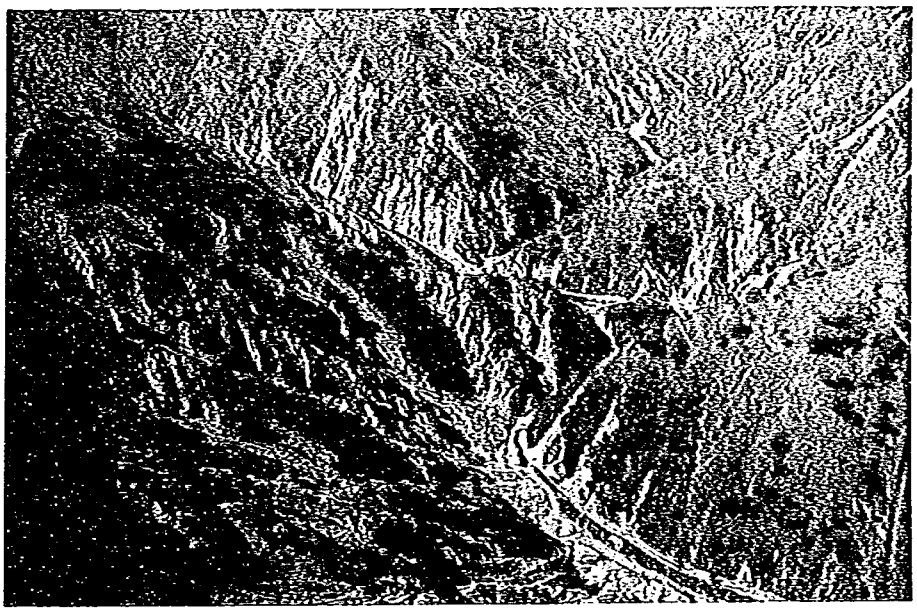


写真－1　リサール付近に現れた断層



写真－2　バギオ市のハイアットテラスホテル

写真－3　ダグパン市の傾いたビル



写真－4　ブエド川沿いを走るケノン道路
とブエド川に崩壊した土砂

ります。ダグパンから震央位置まで約100kmぐらい。マニラからバギオまで200kmぐらいという距離の間隔でございます。

フィリピン断層がルソン島からミンダナオまで1,200 kmにわたって通っておりますが，その北端がバギオの東の方を通ってこういうふうに抜けている，そういう地形的な条件を頭に置いていただきたい。

これからお話しする中でバギオの町に至る道路には西海岸から上がってくる3本のルートがあります。北の方からナギリアン道路，マルコス道路，ケノン道路でございます。それから，マニラからルソン島の北部にかけまして日比友好道路がこういうふうに走っております。この道路も特に斜面崩壊でこういうところで被害を受けました。それから緑色の標高100m以下の軟弱な低平地の中をアグノ川，パンパンガ川が走っておりまして，その川沿いで堤防とか橋梁が被害を受けました。そういう被害を順次御紹介していきたいと思います。（スライド交換）

これはバギオの町の光景でございます。先ほど申し上げましたように標高1,500 mぐらいの丘陵地でございまして，たくさんの町が斜面の上に建っているわけでございます。（スライド交換）

このスライドはバギオ大学の建物ですけれども，もともと4階建だったのですが，学生の数が増えて上を継ぎ足した。そのために4階から上の階が落ちてきてしまった，といったタイプの被害でございます。バギオの町の中ではこういう高いコンクリート造りのＲＣのビルの被害が目立っております。（スライド交換）

これはバギオに至る西海岸からの道路のうち一番南側にございましたケノン道路の路面でございます。道路沿いの斜面が崩れ落ちてきて，ここに白い色が入っておりますが，これは落ちてきた石の中に閉じ込められた車でございます。（スライド交換）

これは今の箇所よりはもう少し海岸に近い位置ですが，８月１日時点に私どもが入ったときに道路の上から撮った写真ですが，大型のバスが崩落した土砂と一緒にブエド川の中に押し流されてしまっている。正確な標高差はわかりませんが，40～50mあるんじゃなかろうかと思います。（スライド交換）

そこに至る道路も寸断されておりまして，ブルドーザーで崩落した土砂を取り除いている横を擦り抜けて先ほどのところへ行ったわけですが，この道路には重機の数はそれほど多く投入されておりませんでした。（スライド交換）

今の乗り越えた地点の少し手前には，崩落した箇所と，もうちょっとこちらにはのり肩が崩壊しておりまして，ちょうどその間を走っていた車が運よく残っておりまして，多分この車のドライバーは助かったんだろうと思います。（スライド交換）

助かって逃げるときに，最初現地に入りましたときは，ここに鎖があるものですから，落ちた車を谷底から引っ張りあげるために鎖でくるんで引き上げたんだと思ったのですが，そうじゃなくて，ここから命からがら逃げ出すときに，こういう始末をしておかなかったらボンネットをあけて車の中のバッテリーを持っていかれるとか，下手するとエンジンを持っていかれるとか，置いてあったら要らんのだろうということで持っていかれる。そのための鎖だそうでございます。（スライド交換）

今の箇所よりもうちょっと手前のところは片切・片盛の盛土部分が大きく崩落いたしておりまして，ケノン道路で代表的に見ていただきましたけれども，３本の道路では土砂崩壊あるいは岩石崩壊，盛土部分の崩壊といったいろんなタイプの斜面災害が生じております。（スライド交換）

もう一つの斜面災害ですが，これが道路の右端，この辺が左端，上から大きな石が落ちてきておりまして，長さをはかっておりますが，横幅が10m，高さがざっと４.５ｍ～５ｍぐらいの巨大な石でございまして，重機で取り除けませんから，穴をあけてダイナマイトで小割りをして除去する作業をしておったのですが，この国ではダイナマイトを使うときには，一つ一つ軍の許可が要るということで非常に手間取って，復旧にも時間がかかっていたようでございます。（スライド交換）（写真－５）

写真－５　ケノン道路上の巨大落石

これは日比友好道路のダルトン峠，ダルトンパスというところでございます。かつてこの会議のメンバーの一人でもあった岡本隆一さんが，フィリピンのこのルートの災害防除のために，ここをトンネルにするか，斜面災害を防止するような工事をするか，という技術的検討のためにＪＩＣＡで一番最初に行かれたミッションのメンバーだったと思いますが，そういう場所でございます。

70mあまりの斜面が，肌落ちだと思いますが，落ちてきた。ここでは重機が３台入っておりました。非常にたくさんの重機がここには投入されておりまして，幹線であります日比道路の復旧に全力を挙げておりました。ここにあります車は，不通区間までの折り返しの交通機関としてジープニーが入って，あとは人が歩いて行き来する状況でございます。（スライド交換）（写真－６）

直接的な道路あるいは人命への被害のほかに，斜面が崩落したことによって一番最初に見ていただきましたように河道を埋めるという現象が起こっておりますが，河道を埋めるほか立っている木が押し流されて，それが川の中に流出する。さらにそれが，これはプンカンという橋ですが，橋の上流側に堆積してしまって，折からちょうど雨期でございまして水が出てくるのですが，新たな災害，例えば橋梁を押し流す，あるいは氾濫するといった２次災害が懸念されていたところでございます。（スライド交換）

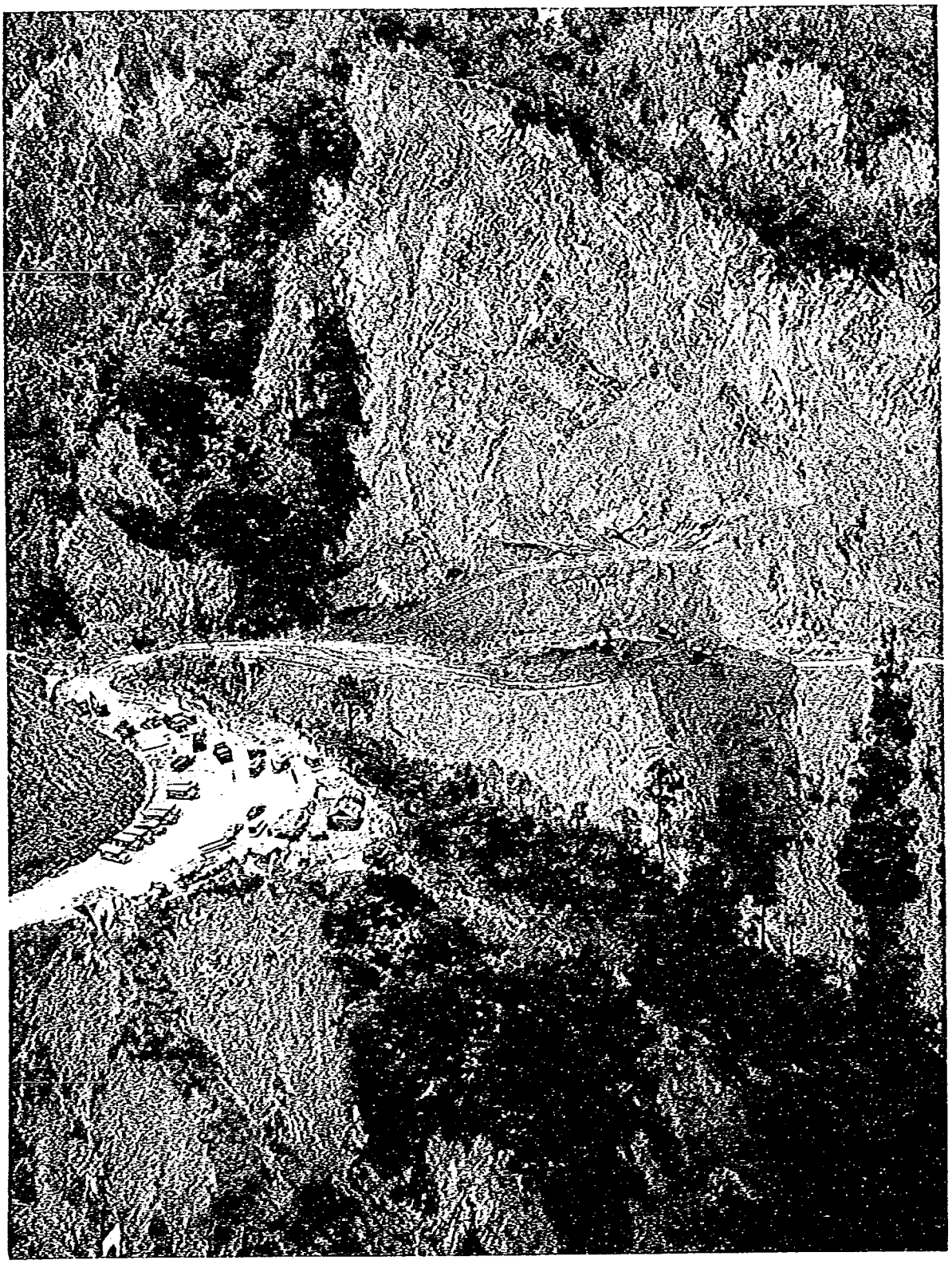
今ごらんいただきましたダルトンパスはこの辺でございまして，プンカンはこの辺になりますけれども，次にリンガエン湾に面したダグパンの町に例をとって液状化の被害をごらんいただきたいと思います。（スライド交換）（図－２）

この地図は青い色がここで切れておりますが，全部リンガエン湾の海でございまして，海岸線がこの境目を走っている。震央がこちらの方向に100kmぐらいという位置でございます。長さのスケールがここに１kmに書いてございます。ダグパンの町は，この海岸から３kmぐらい内側に入ったこのあたりがダグパンの町の中心でございます。人口11万。

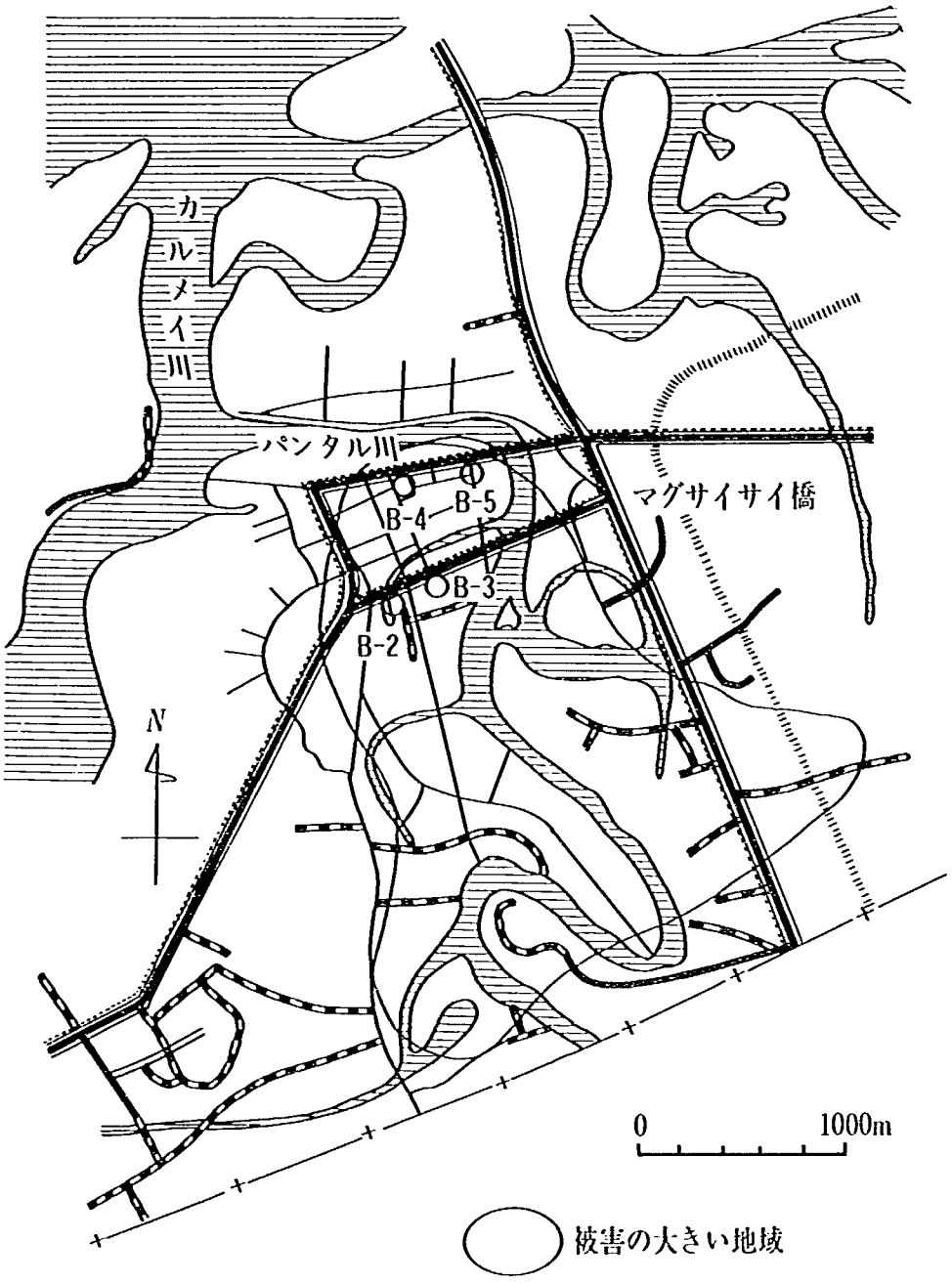
これはリンガエンという町に通じる道路，これも後で御紹介しますカルメン橋にいく道路，主要幹線だけ書いてございます。余り詳しいことはよくわかりませんが，リンガエン湾の海から運ばれて堆積した海性の，砂丘性の堆積物がここらに上がります。そこにアグノ川の支川であるパンタル川がこういうふうに入ってきております。この河川が運びました砂，粘土，シルトといったものがこのあたりに堆積している。標高１～２ｍという非常に低いフラットな地域でございます。（スライド交換）

この町の中で起こりました液状化被害の例の二つ目でございます。一つ目は先ほどの傾いたＲＣの建物をごらんいただきました。これも同じように沈下いたしておりまして，道路との標高差は，もともと道路と床が同じであったとすると50cmぐらいの標高差がある。ただし，ＲＣ造そのものが沈下してしまっておりますけれども，構造的にはそれほどひどい損傷を受けているわけではございませんから，ジャッキアップをするとか，１階をガレージか何かにしてしまう，ということをすれば使用はできる状況でございます。基礎構造はほとんど資料がございませんけれども，しっかりした杭を打つといったようなことが行われないのが通常だそうでございます。このＲＣに比べて木造家屋の方が沈下がちょっと少ないということでございます。（スライド交換）

建物の被害ばかりでなくて，これは今の場所とはちょっと離れますけれども，建物のある側が道路よりも低くなってしまっている点に御注目いただきたい。（スライド交換）



写真－6　日比友好道路，ダルトン峠付近の被害



図－2　ダグパン市街の被害分布

同時に，側溝も噴砂が流れ込むとか，パイプが折れてしまう。一番肝心なことはこの町全体が現地の技術者の話によれば1.5m程度沈下したということで，自然流下の排水機能が失われてしまっております。（スライド交換）（写真－7）

このために町の中のメインストリートには，毎日雨期のシーズンに降ります水がこんなふうにたまってしまっている。ということでびしゃびしゃ溝の中をこういう状況で動かざるを得ないことになっております。（スライド交換）

もう一つ沈下したことのほかに，実はこの歩道が道路端とひっついておったのですが，50cmぐらい水平方

写真－7　ダグパン市街の状況

向に開いていることと，この位置は先ほどのような水のたまり方が特にひどくて，1m50cmぐらい沈下したと言われる場所でございます。そのためにアスファルト舗装の上に玉石交じりの土砂を持ってきて埋め立てて，そのために舗装盤が見えない状況になっております。（スライド交換）

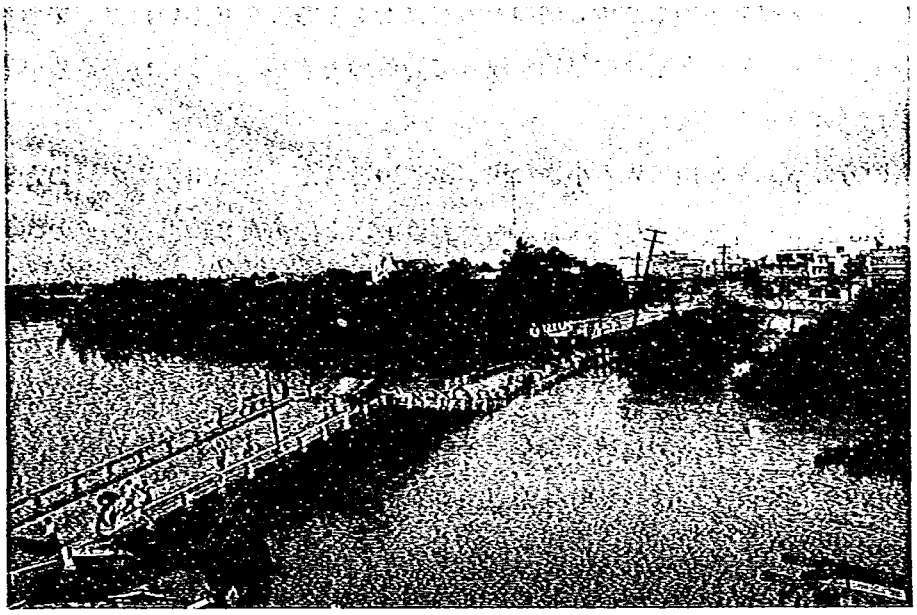
液状化に伴う被害の例として地盤が沈下した，建物が沈下したのをごらんいただきましたけれども，日本でも過去の地震で経験したようにガソリンスタンドの地中に埋めてありましたタンクが浮き上がって，コンクリート舗装がこんなふうに壊れてしまった。（スライド交換）

地中に埋めてありました直径2m50cmぐらい，横の長さが5mぐらいだと思いますが，地中から浮き上がってしまった。これはこの高さまで浮き上がったわけじゃなくて，浮き上がった後掘り出したものでございます。（スライド交換）

次の液状化による被害の例として土木施設の重要な構造物の一つであります橋梁の被害の例でございますが，パンタル川にかかっております2本の橋のうち上流側にありますマグサイサイという橋が落橋いたしました（写真－8）。長スパンの単純支承の桁でございまして，コンクリート杭で基礎がつくってあったという話ですが，この写真の中には舟を並べて仮橋にして人が行き来いたしておりまして，ここには料金所があって，非常にたくましいものでございまして，私設の舟を使った橋で人を渡らせながら料金を徴収しているということでございます。（スライド交換）

ここの部分は橋脚が倒れたのか，沈んだのかよくわかりませんが，この橋脚部分をクローズアップした写真がこちら側でございまして，右側のアバットの方から桁が前の方にこれだけ突き出しているのがごらんいただけるかと思います。1m余でございます。（スライド交換）

その後ろのアバットのところの写真をこちらに映しておりますけれども，アバットの横の玉石交じりのウォールがございますが，その痕跡をごらんいただきますとわかりますように前にせり出している。つまり河岸側の地盤が川の方向に向かって水平方向に押し出すように水平移動してしまっている。そのために桁が突



写真－8　落橋したマグサイサイ橋

き出した。幸いにしてここの橋脚は傾いてはいますが，残っているんですが，前に突き出して，桁が落ちてしまっている。ここのピアはどういう状況になっているかわかりませんけれども，設計当時の図面を見ますと，高水敷ほどではありませんけれども，河床は若干こちらが厚くて，ちょうど落ちたあたりは河道の中心で若干深くなっている。つまりピアも高い状況になっているようでございます。（スライド交換）

マグサイサイ橋の右側，下流側の左岸に当たるのですけれども，河岸がこの位置でございまして，今のアバットがせり出すのと同じように河岸も被害を受けました。そのためにほとんど水面と同じぐらいの高さまで沈下をするという状況でございます。（スライド交換）

もう少し下流の今度は右岸側ですが，特に被害が大きかったのはこの川よりも左岸側ですが，右岸側でも一部被害が起こっておりまして，ごらんのように河岸の護岸がせり出す，クラックが入る，若干沈下するといったような被害が生じております。（スライド交換）

建物，地盤の沈下，橋梁とごらんいただきましたけれども，もう一つ，水道管が地面から浮き上がって，なおかつ折れている。これはガソリンタンクが浮き上がったのと同じような力で浮き上がったわけじゃなくて，今のアバットが前にせり出したのと同じように地盤が左右から真ん中に向かって相対的に押し込むといいますか，パイプを押しつぶすような方向で地盤の変状があったために浮き上がったものと理解されます。（スライド交換）

被害のあったダグパンの町のこれがパンタル川，ちょっと切れておりますが，この辺で大きく左に曲がって，北の方向がこっちの方向になります。少し左に傾いておりますが，パンタル川がこういうふうに流れております。落橋しましたマグサイサイ橋はこれでございます。もう一つここに落橋を免れましたこれよりも建設年代が古いと言われております橋が１本ございます。この町の中の赤く塗った建物が特に大きな被害を受けた部分でございます。黒いのはそれほど被害がなかったところでございます。（スライド交換）

このあたりの拡大写真をこのスライドの前に見ていただいたのですが，町のＲＣ構造物がかたまっているこの地域のみならず，ダグパン市のもう少し南の方の写真をこちらでごらんいただいておりますけれども，南の方には木造の１階建あるいは２階建の建物が建っているのですが，そういうところでもこういう被害が起こっております。（スライド交換）

この写真は，南の方のパンタル川に入る小さな川があるのですが，その川のこの橋のところから撮った写真ですが，川の水面がここでございまして，もともとの護岸がこのあたりにある。その内側の高さをごらんいただけると思いますけれども，１m50cmぐらい沈下してしまった。総合いたしますと，ダグパンで被害が特に大きかった地域は，赤くハッチがしてある部分であろうかと思います。（スライド交換）

これはパンタル川の右岸側のこのあたりで撮った写真ですが，右岸側にも噴砂の痕跡は８月時点でもまだ残っておりましたけれども，被害はそれほど多くございません。（スライド交換）

この人はフェルナンデス通りでの路傍で時計の修理をやっているおじさんですが，この人を含め何人かの人にインタビューをいたしました。中身は地震のときにどういう現象があったか，地面から砂が噴き出したとき，どれぐらいそれが継続したかといったような点です。そういたしますと，特に被害がひどかったあたりでは，人によっては30分，落橋いたしましたマグサイサイ橋のあたりでは１時間とか１時間半というオーダーの時間噴砂が継続したということになっております。

先ほどごらんいただきましたこちらの方では，10分とか30分とか，人によってまちまちで，場所と地表の状況によって数字が異なりますが，少なくともオーダー的には分と時間の違いがございまして，被害の特に多かったこちらの地域では長く噴砂が続いたということでございます。後でごらんいただきますけれども，ボーリングのデータも液状化の可能性があった層厚が厚かったことが後で判明してまいります。（スライド交換）

次に液状化被害のもう一つの事例としてカルメンという橋の長さが650mぐらいの橋があります（写真－９）。ちょうどこのあたりになります。その様子をごらんいただきたいと思います。（スライド交換）

アグノ川にかかっておりますカルメン橋の左岸側から撮った写真でございまして，この橋脚が傾いて桁がはずれかかっている。ここは橋桁が橋脚の頭から落ちてしまっている。ごらんいただけるかと思います。（スライド交換）

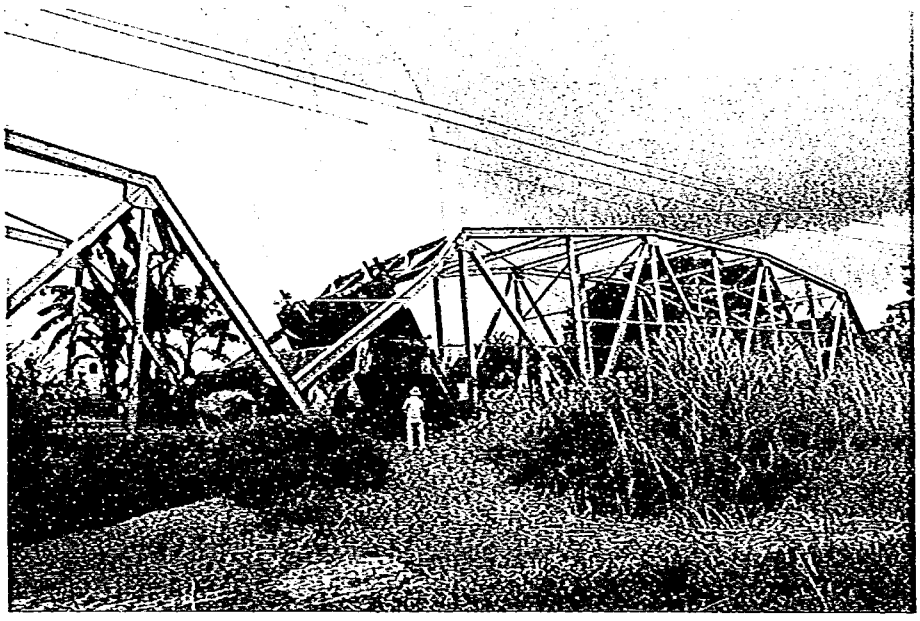
これはＰ５橋脚，多分この橋脚だと思いますが，横からクローズアップしたところですが，左側に傾いている。手前の方には噴砂の跡があるのがごらんいただけるかと思います。（スライド交換）

これはもう一つ先のＰ７橋脚だと思いますが，やや傾いて，こちらの桁は何とか残っているのですが，こっちの桁は高水敷の上に落ちてしまっている。人は歩けるものですから木製の階段がつくってあって，直後は人がこういうふうな形で行き来していました。（スライド交換）

落橋を起こしました左岸側の高水敷にはこういうクラックが幾つも見えておりまして，噴砂の跡もありますが，先ほどのマグサイサイ橋と同じで，川の真ん中に向かって地盤表面が動いた。そのためにこういうふうに橋脚が傾く。桁がはずれて落ちるといったことが起こったように思われます。（スライド交換）

反対側の右岸側からこの橋を見ますと，ここにピアが外に１本突き出しているのですが，（スライド交換）

ピアの頭がここに見えておりまして，右岸側の高水敷にも同じような亀裂が幾つもこういうふうに観察さ



写真－9　落橋したカルメン橋

れます。（スライド交換）

この右岸側のＰ11橋脚は河床の洗掘によりましてピアがだめになってしまったものですから，４～５年前に復旧した。したがって，橋脚の形も違うのがおわかりになると思います。ＲＣの基礎がしっかり入っているこういうところの橋脚は，先ほどごらんいただきましたように亀裂が入って周りは動いているのですが，何ら損傷は生じていない。

ただ，ここにあります支承に注目していただきますとおわかりいただけるように，支承はひっくりかえって桁はちょっと下がったわけですが，つまり木杭であるのか基礎構造ははっきりしませんが，左岸側のようなタイプの液状化に対する配慮が十分なされていない状況ですと，さっきのような被害が生じますが，特に液状化をきちんと検討したわけじゃないでしょうけれども，深くまで基礎を入れたものであればここで起こった程度の液状化に伴う流動にも十分耐えられるという一つの事例ではなかろうかと思っております。（スライド交換）

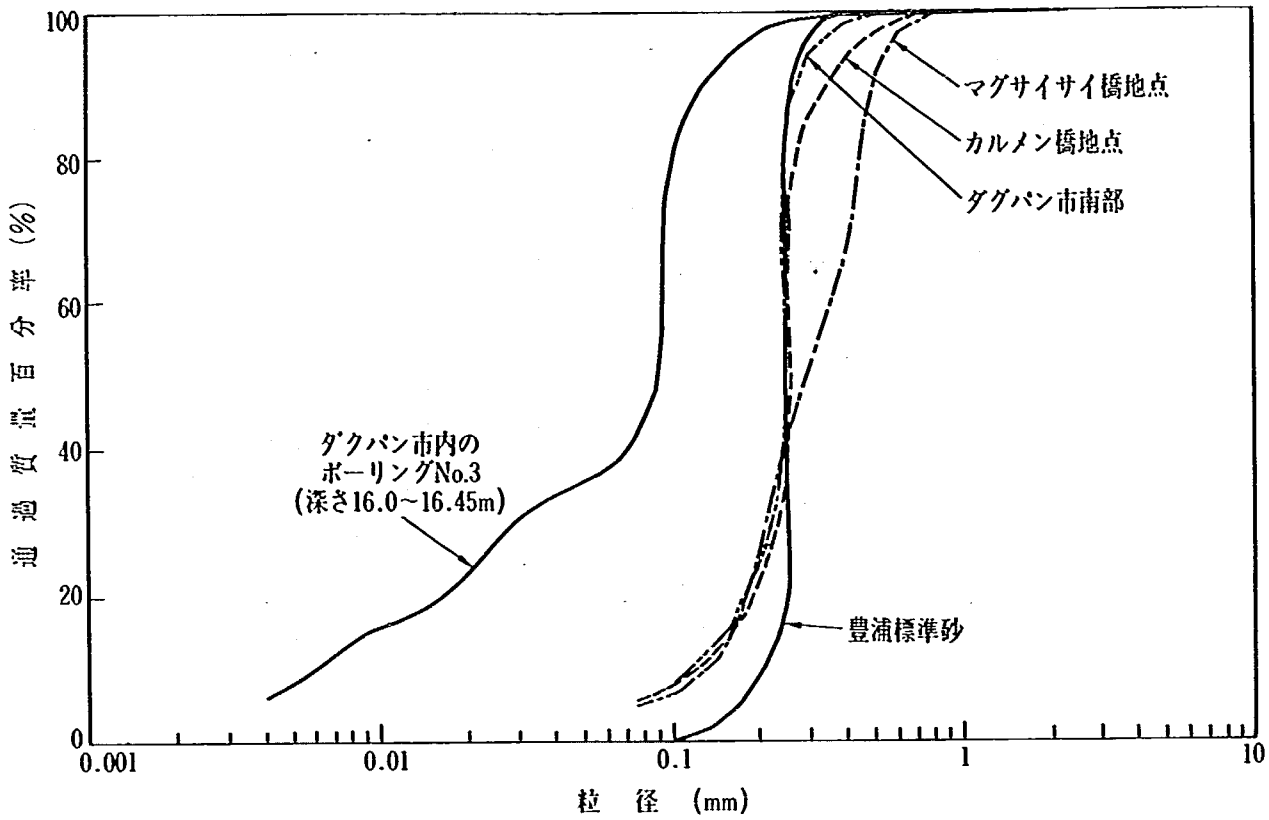
液状化に伴う被害は，ほかに，例えばこういう盛土の被害とか，（スライド交換）

河川堤防の被害，これはアグノ川でございますが，ちょっと珍しいのは，普通は堤防に沿った平行な亀裂と段差が生ずるのですが，この個所では非常に珍しく横断方向の亀裂が生じて段差が生じている。こういう被害も生じている。（スライド交換）

そのほかパラペット護岸の被害といったもの。（スライド交換）

ダグパンに戻りまして，ダグパンの町ではボーリングを既に，７月31日の写真ですが，実施いたしております。（スライド交換）

噴射した砂を幾つか採取して持って帰って測定した粒度曲線がここに４本ばかり上がっておりますが，中心粒径が0.2mmぐらい。均等係数も非常に小さな，日本の液状化した地点での噴砂と全く同じような傾向



図－3　粒度分布曲線

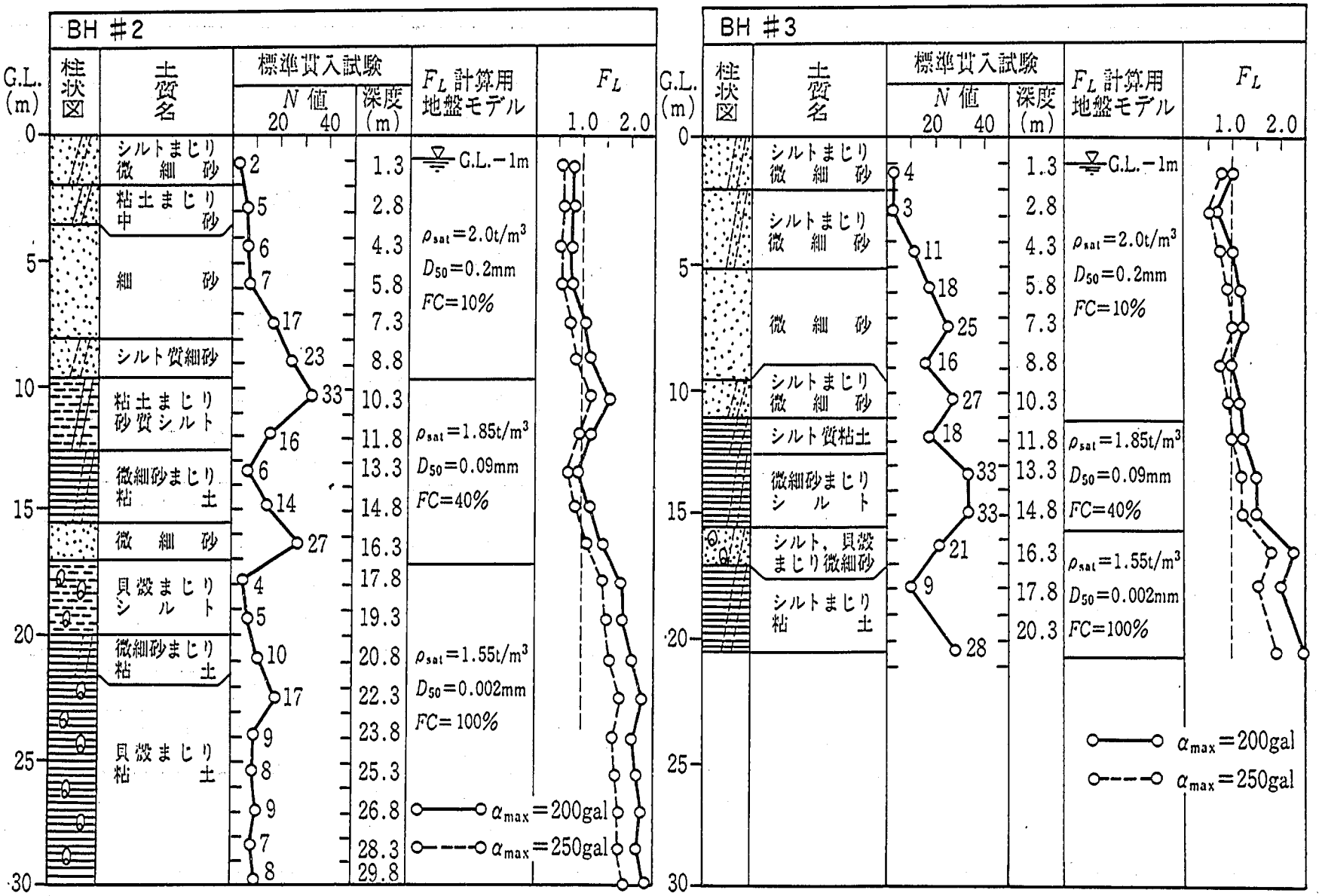
のものでございます。（図－3）

赤いやつは，ちょうどボーリングをやっておりますところのペネスリーブから少し試料をもらって，持って帰って日本で粒度分析をした結果ですが，細粒分含有量が35%ぐらいあるような，16mの深さですが，こんなふうな粒度のものでございます。（スライド交換）

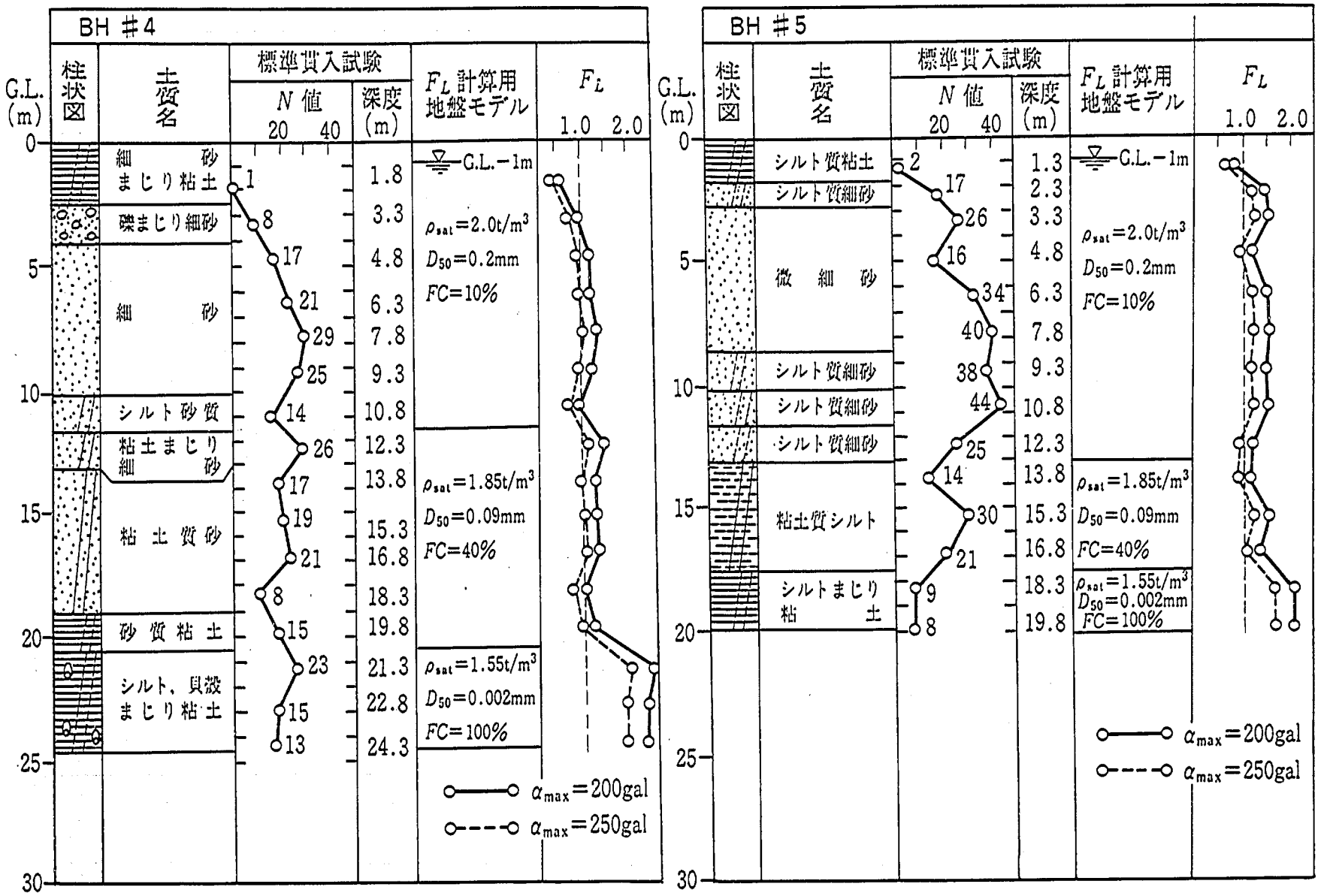
ダグパンの中心街をクローズアップした写真がここにあるのですが，ここにボーリング地点が2,3,4,5とございますが，12番，2番，3番，11番，このあたりが特に被害の大きかったところですけれども，被害がそれほど顕著でなかったところ，被害の大きかったところ，何本かのボーリングデータをごらんいただきたいと思います。これがNo.2ですから被害の大きかったところですが，地表から20mまでの間に黄色く塗ってありますが砂質あるいはシルト交じりの層でございまして，N値にいたしまして，高いもので30，20以下。

ただ，このN値というのは日本の標準貫入試験と若干やり方が違っておりまして，このN値をそのまま信用していいかどうか，打撃効率が悪いように思われます。悪い理由は，重錘を吊りあげるロープがドラムにそのまま巻きつけてあって，トンビで自由落下をさせるタイプではなくて，そのためにエネルギー効率が人によると40%から60%ぐらいではなかろうかということを言っておられます。（図－4）

ともかく被害の大きかった地点では15mぐらいまではこういう緩い砂層がこうある。被害がなかった12番のところをごらんいただきますと，地表から3mぐらいまでは粘土が上の方にありまして，その下15mぐらいまで砂あるいは砂交じりの土層が続いておりますが，N値は極めて高くて，ファインサンドあるいはシルティファインサイドのN値は，被害がなかったところは大きいのがごらんいただけるかと思います。（スラ



図−4(a) ボーリングデータ



図－4 (b) ボーリングデータ

イド交換)

今の2番をこっちに移しまして，3番，被害の大きかった地域ですが，ファインサンドは3番の地点でも続いておりました。(スライド交換)

3番の右側にあります11番の片側，右岸側になりますけれども，このあたりでも9m，10mぐらいまではN値は20程度といった状況になっております。(スライド交換)

結局この地域の地盤生成の経過がこういう被害が大きかった地域，それほど顕著でなかった地域の差をもたらしたものと思います。(スライド交換)

日本の道路橋示方書をもとにいたしまして，今の2番，3番の液状化抵抗を検討してみました結果でございますが，何しろフィリピンには強震計が4～5台あったんだそうですが，メンテナンスが悪くて1台も稼動しておりませんで，この地震による地震動の大きさがどれぐらいであったかを推定する根拠が一つもないのですが，震央位置から100kmぐらい離れてマグニチュードが7.8であるといった情報から，日本の経験をもとにすると，大体200galぐらいの地表加速度が作用したと考えられますので，それに対する液状化抵抗を判断してみますと，少なくとも7m，8mぐらいまでは液状化する可能性のある層がこういう領域では堆積していた。(スライド交換)

№3でも同様でございます。ちなみに2本線がありますが，エネルギー効率がもしも6割ぐらいしかないとすると，この地点では10m余まで液状化したと判定せざるを得ないような結果になっております。(スライド交換)

話題をかえまして，一番最初のスライドでごらんいただきました断層の話を少しお話ししたいと思います。これがルソン島の震央位置ですが，余震の分布域を示しておりまして，我々政府の緊急援助隊が入ったときは，この震央の近傍で50kmぐらいは断層を確認していたのですが，大体120km余の断層が今では確認されておりました。その断層と余震の分布はほぼ一致いたしているわけでございます。(スライド交換)

今の断層の範囲を角度を変えてといいますか，ここが震央位置になって，地図を一部だけ示してございまして，バギオの右に当たりますイムガンというのがこの辺だというふうにごらんいただきたいと思います。日比友好道路がこれに沿ってずっとおりてきます。この断層の一番北のはずれに近いイムガンという地名の近くですが，斜面に断層が発生しているのが確認される。(スライド交換)(写真－10)

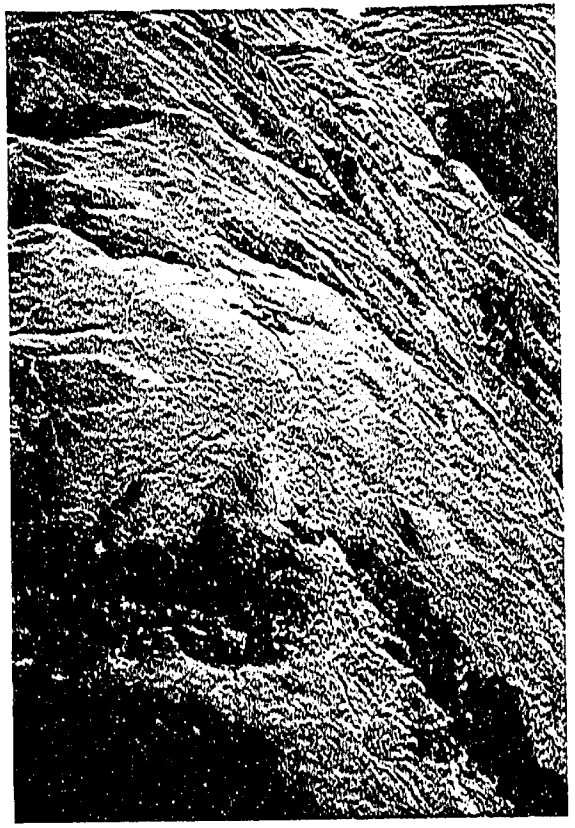
もう少し南の方へ下ってきましてディグディグの町の少し北の方ですけれども，日比友好道路と交差するあたりの断層でございます。舗装面がこんなふうに壊れてしまった。(スライド交換)(写真－11)

地上から撮ってみますとこんなふうに舗装盤が突きあがる。断層がこういう方向に走っているわけです。(スライド交換)

さらにもう少し南の方に下ってきたところですが，ここにこういう断層がこう走っている。(スライド交換)

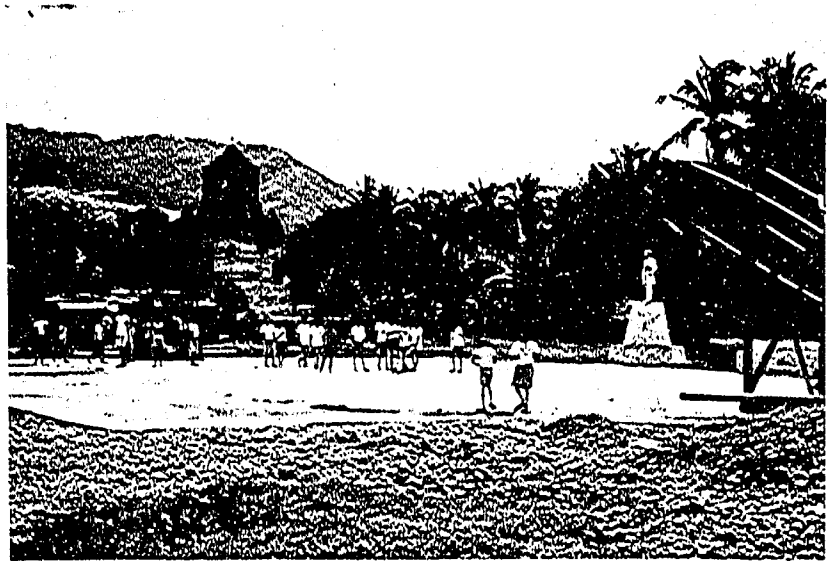
これはプンカンという，地図で言いますとディグディグよりももう少し南に下ったこのあたりですが，朝日新聞の夕刊なんかにも出ましたけれども，プンカン教会があった場所です。(スライド交換)(写真－12)

これは地震の後8月に撮った写真ですが，ここのところにあった教会が6月に撮られた写真では健全に建っているわけですが，この教会が倒れてなくなってしまった。銅像はまだ残っているんですけれども，プン

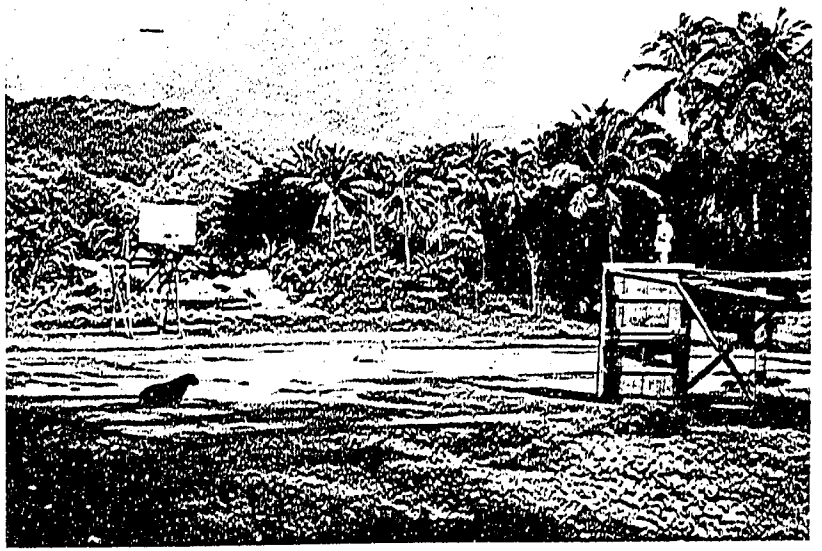


写真－10　イムガンの北の斜面に現れた断層

写真－11　日比友好道路を横切る断層



地震前（1990年６月撮影）



地震後（1990年８月撮影）

写真－12　プンカン教会

カンあたりではこういう被害が生じている。（スライド交換）

プンカンの少し南の方の断層の状況です。（スライド交換）

これはサンホアンというところの地震の後の写真です。地震の前の同じ場所ですけれども，こちらは8月の雨期でございまして，こちらは6月の雨期の前でございます。植生も水が足りないので枯れたような格好になっていますけれども，実は断層がここの木とこの茂みの間を走るであろうという広島大学の中田高先生の現地調査で，6月に起こるとすればここである。ということでお撮りになっていた写真ですが，この木が地震の後はここにあります。それから，あの茂っている木がこれとこんなところ，ちょうどここのところが地震後に確認すると動いている。この木とこの木が断層を挟んで両側にありますから，一体どれだけ動いたかということで見て，細かく断層沿いの変化を調べておられます。（スライド交換）（写真－13）

次にもう少し南の方のリサールというところの話ですが，パンパンガ川の放水路みたいなところがございまして，ちょうどここのところを空からの写真で見ていただいているのですが，放水路みたいなのがございます。ここに橋がかかっておりまして，その橋がちょうどこの断層の真上に当たるものですから落ちてしまった。（スライド交換）

落ちた状況を地上から見るとこんな状況でございます。（スライド交換）

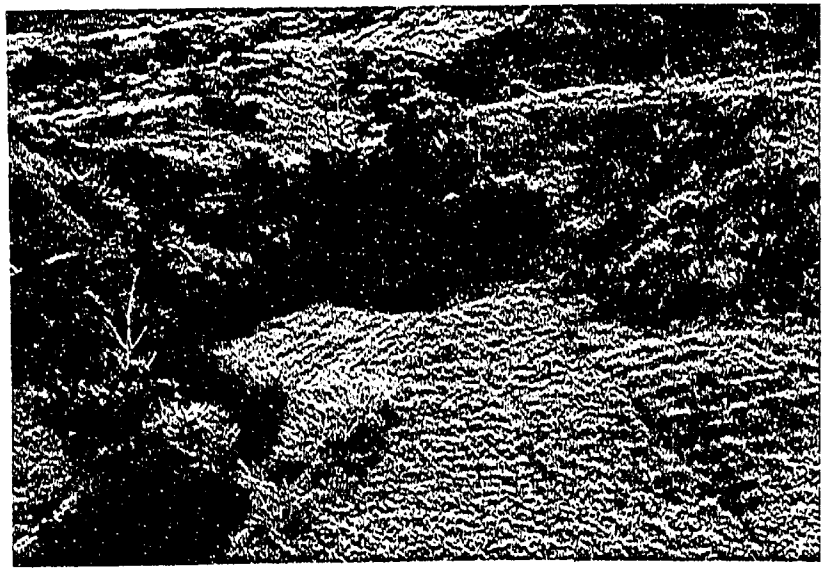
同じところを地震の前に撮ってあった写真ですが，ここのところを断層が走っている。このために4m，5mという変位に耐えられなくて，当然こういう構造物は耐えられませんから落ちてしまう。

ちょっと注意してごらんいただきたいのは，斜面の状況です。結構な勾配を持っているのですが，地震の前と後の斜面を見比べていただきますと，イムガンとか最初にケノン道路でごらんいただきましたように，斜面崩壊が北の方ではたくさん発生しているのですが，まさに震央に非常に近いこの場所でこれだけの変位が生じたにもかかわらず，斜面はほとんど落ちてない。つまり斜面崩壊を起こすほど大きな加速度が生じたとは考えにくいわけでございまして，大きな変位は生じましたけれども，構造物に生じた被害も慣性力による被害というよりは地表の変位による被害が非常に大きかった点が特に注目すべき点ではかなろうかと思います。（スライド交換）（写真－14）

この断層沿いに地震の前後の写真とか地震後の痕跡から水平方向のずれ，橋が切れていますけれども，鉛直方向のずれを細かく各地点ごとに調べて，これがちょうど震央位置ですが，左側が鉛直方向，これが水平方向でございまして，左横ずれの量がこういうふうに示してございます。こちら側が沈下，こっちが隆起という格好になります。

水平方向のずれと鉛直方向のずれの量を合成して地震の断層に沿った形でプロットいたしますと，こういうふうな断層沿いに変位の状況が整理されております。この変位の形と，この下にありますのは，筑波に設置してあります東大地震研の地震計がとらえたP波の一番最初の初動部分の波形を変位に積分変換した結果ですが，時間が若干ずれておりますけれども，ちょうどこのあたりからの最初の一波の形がこの断層のずれの量に非常に類似しているといったことが言える。（図－5，図－6）

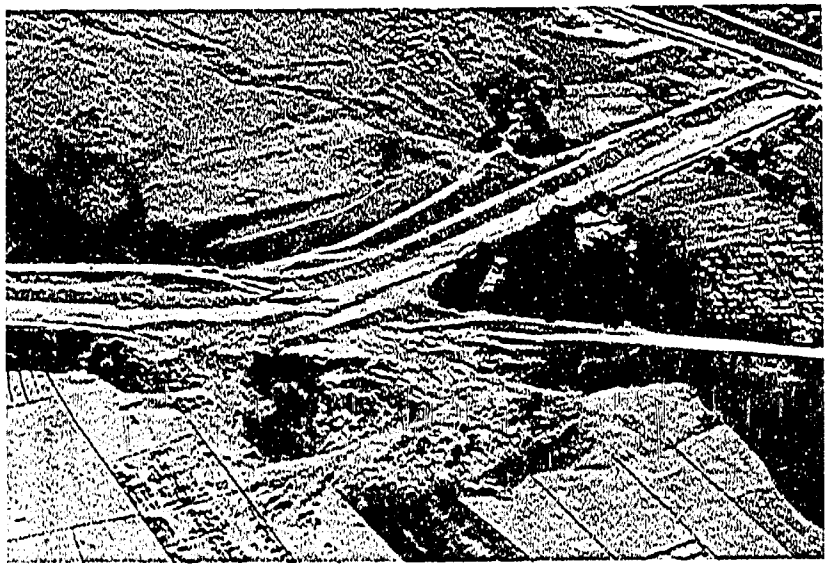
断層のうち一番最初に切れ始めた点が震央でございまして，だんだん切れていくのにVSの7割とか6割ぐらいの速さではずれて，みしみしと両方に向かって裂けていくわけですから，それよりもっと速いスピードで伝わってくるP波の一番最初の波は，切れていく個々の，それぞれのセグメントから出てくる波が適切



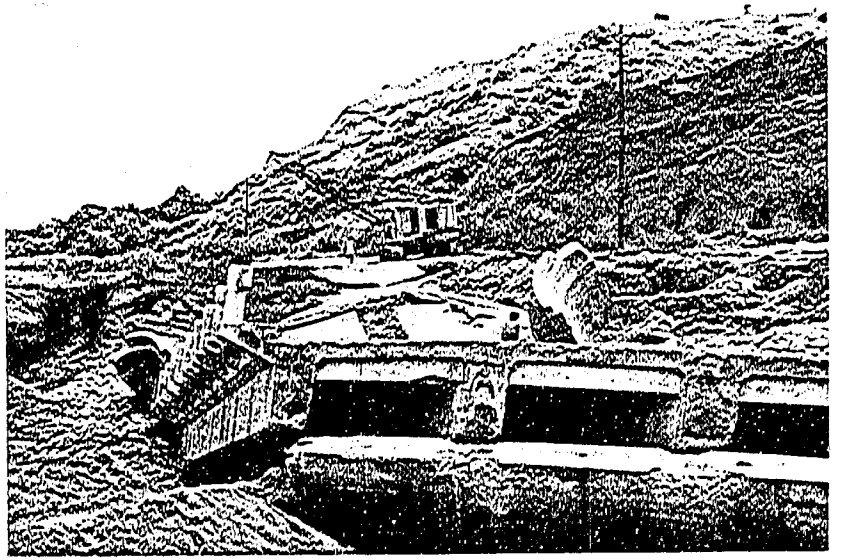
地震前（1990年６月）

地震後（1990年８月）

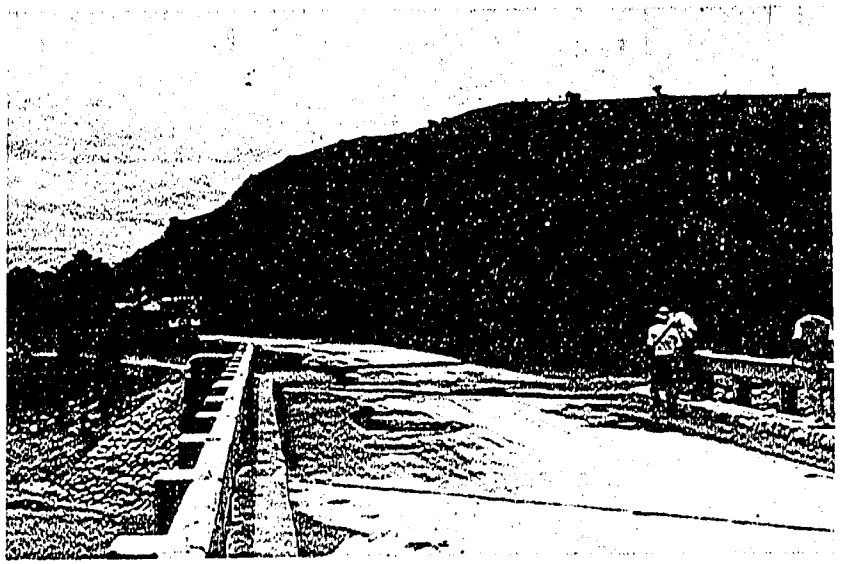
写真－13　サンホアン付近の断層



地震後の空から見た梯子

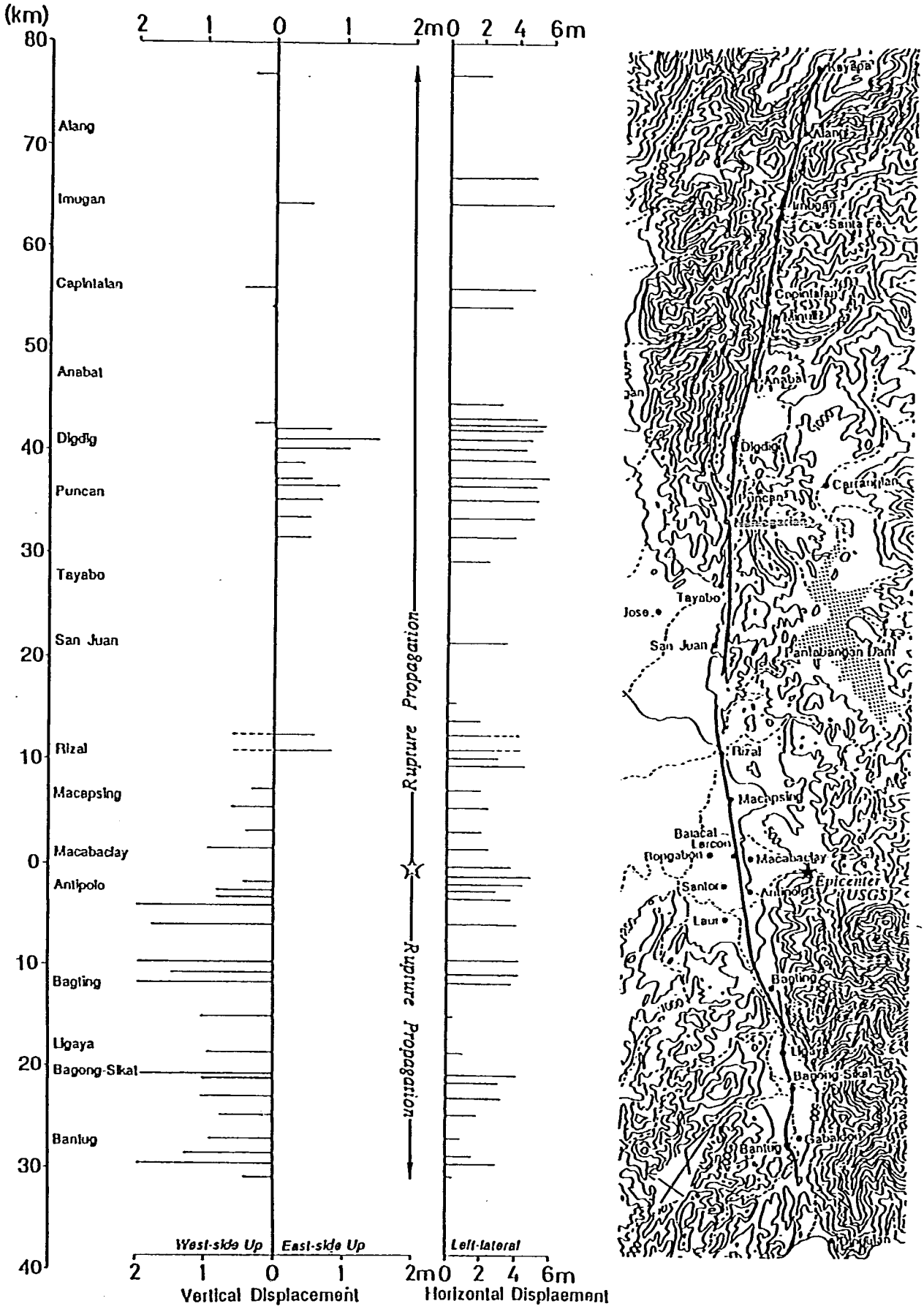


地震後（1990年８月撮影）

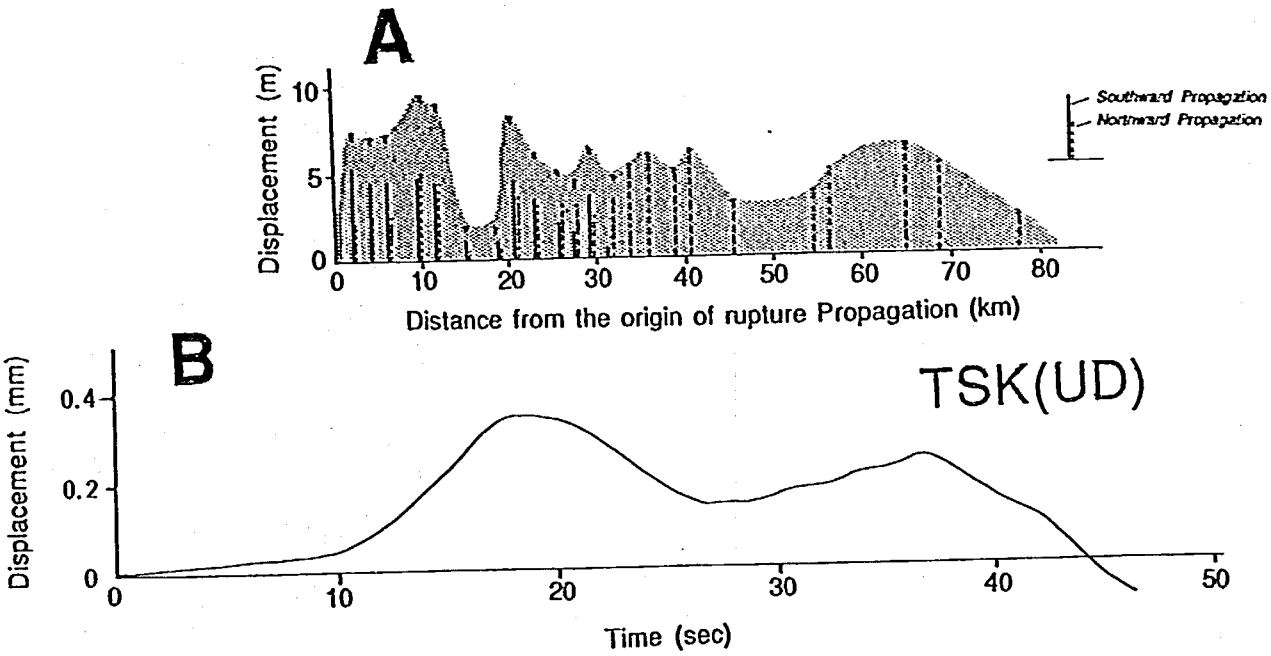


地震前（1990年６月撮影）

写真－14　リサール付近の橋の被害



図－5　断層にそうずれの量の分布（中田氏による）



図－6　断層のずれの分布とP波の被動部分との比較（中田氏による）

な距離，適切な角度でとらえられていれば，P波の大きさを反映して同じような形になるのかもしれませんが，こういう種類の記録がとれたのは多分今回の地震が初めてであろうと思いますし，地表に断層がはっきり出てくるようなところでの断層の動き方，被害も断層に近ければ非常に大きな加速度が生じるというわけでもないという例であったように思います。

この辺の断層の動きとか構造物に与える影響につきましては，今回お集まりの御専門の方々にいろいろ詰めていただいて，構造物の耐震性の向上に役に立てばという気持ちがいたしておるところでございます。

これで私の話を終らせていただきたいと思います。

酸性雨とコンクリート

土木研究所 地質化学部長
小 林 茂 敏

私の話は「酸性雨とコンクリート」という題でございます。

最近は，地球の温暖化あるいはフロンガスによるオゾン層の破壊，あるいは森林の砂漠化という大変地球規模の環境の問題が話題となっております。その問題の一つに酸性雨によって植物に被害があるんじゃないかということが取り沙汰されておりますが，最近はコンクリート構造物も酸性雨等によって溶けてしまったりする被害が出るんじゃないかということが話題になっております。私の話は，酸性雨によってコンクリートが非常に影響を受けると言われるようになったのはどういうわけかということをまず最初に述べさせていただきたいと思います。そして，実際のところ被害はどうなのかという話，そして最後に，事実確認のために土木研究所は今どんなことをやっているかという紹介をさせていただくことにいたします。

皆さんの方に資料としまして資料３というのがございます。これは実は11月27，28日に「一日土研」というのを東北地建さんのお世話で仙台でやらせていただきましたが，そのときに地建から質問がございまして，近年酸性雨の問題でコンクリートに影響があると言われているけれども，それはどうしてなのか，対策はどうなのかと聞かれましたので，この書面をもって答えたわけでございます。

きょうの話は，書いてあります内容の要点をスライド等を使って御紹介してゆく趣向でございます。なお，酸性雨中の酸をどうやって測定するのかという御質問もございましたので，その答えも一応載せてございます。

スライドを入れている間に説明いたしますと，今年の６月９日，土曜日だと思いますが，ＮＨＫのスペシャル番組で「ツララは訴える　忍び寄る酸性雨」というタイトルで特別報道がございました。その内容をスライドに撮っておきましたので，もう一度ここで再現して，ＮＨＫの言っている内容の要点を御紹介したいと思います。（スライド交換）

最近，町を歩いているとコンクリート構造物からツララのような不思議なものが下がっている。これをよく調べてみますと，そのツララがコンクリートのひび割れの部分から出ている。非常に不思議な現象なので，どうしてかということを調べようと思い（スライド交換），このツララを取ってみますと，氷のツララのような形をしておりまして，その真ん中には穴があいていました。ツララはひび割れから発生していて，まずひび割れから水が出て，水が垂れている間にだんだんツララが大きくなっていくというメカニズムのようでございます。非常に不思議な現象なので東京大学をはじめいく人かの専門家に調べてもらいました。（スライド交換）

大学の専門家に調べてもらいましたら，どうも最近の酸性雨との関連がありそうだといいます。

酸性雨というのはどういうものかを話しますと，雨そのものは純粋の水ですが，降ってくる間に空気中にある炭酸ガスを吸収して酸の濃度で言うとＰＨ5.5からＰＨ5.6の弱い酸性の雨になっております。炭酸は私たちが飲み物にしている炭酸飲料等に含まれている非常に弱い酸です。

ところが最近降っている雨はそういう自然の雨の酸の濃度の10倍ぐらい濃いＰＨ4.5程度の雨が全国的に降っている。一般に降り初めたときに濃く東京近辺ですとＰＨ４ぎりぎりぐらい。場合によってＰＨ４を少し切ってしまうぐらいの濃さの雨が降ることもあります。

ＰＨ4.5というのはどのくらいの濃さの酸度かといいますと，数字が一つずつ小さくなるごとに酸が10倍ずつ濃くなってくるので，普通の雨が炭酸ガスの影響で5.5ぐらいの酸度ですから，今降っている雨はその

10倍くらい濃い酸になっているわけでございます。

ＰＨ4.5といえば私たちの食べ物でいうと，オレンジとかそういう程度の酸っぱさの酸です。この数値そのものは事実でございまして，私どもの土木研究所の屋上ではかってもやはり4.5とかそのぐらいの雨が降っております。（スライド交換）

この雨がコンクリートに影響を与えるという話を学者から聞いた話として，ＮＨＫの説明しているところによりますと，ＰＨであらわす場合にはＰＨ７が中性で，７よりも数字が大きくなっていくとアルカリ性，７よりも数字が小さくなっていくと酸性になります。コンクリートはアルカリの中でも最大の強さのアルカリでＰＨは12～13です。これはコンクリートの中に水酸化カルシウムという生石灰がたくさん含まれているためです。

コンクリートは空気中の炭酸ガスによって中性化してまいります。表面に近いところだけに限られますがだんだんＰＨが下がっていきます。ＰＨ８ぐらいになりますと中性化していると言います。このような説明はすべて事実でございます。（スライド交換）

さらにＮＨＫの説明によりますと，コンクリート構造物はいろんな事情でひび割れが入り再び当ればそのひび割れに水がしみ込む。コンクリートは中性化すると炭酸カルシウムができるのですが，しみ込んだ水に炭酸カルシウムが溶け出してツララができる。酸性の雨が降ってくると溶け出す炭酸カルシウムの量がどんどん増えてきてツララが非常に短い期間に長く成長する。炭酸カルシウムのツララといえば，似たようなものは昔から鍾乳洞の中にたくさんあることが知られています。（スライド交換）

鍾乳洞のツララ状のものは炭酸カルシウムあるいはカルサイトという石灰石の主成分が雨の中の炭酸ガスによる酸に溶けて出てくるものである昔から知られている事実です。ただし鍾乳石はそれは100万年も200万年もかかってああいう大きいものができるのに対して，今町の中にぶら下がっているツララは５年，10年という短い期間の間に出てきてしまうので，異常な現象なのである。原因は濃い酸の雨が降っていることにあることに間違いないという学者の解説も加えて報道されているわけでございます。
ツララの分析をしてみるとわかるというので分析してみると，99.9％が炭酸カルシウムという成分ですが，わずかですが硫酸イオンとか，硝酸イオンという雨の中に含まれている酸の原因になるものが分析の結果出てくるという説明でございます。（スライド交換）

そのことを確認するためにＮＨＫは学識者にお願いして実験をしてもらった。その実験は，コンクリートの丸い供試体をつくりまして，供試体に硫酸とか硝酸の酸，弱い酸です。雨の濃さぐらいの酸をかけて割れ目をつくって，割れ目から水を少しずつしたたり落としてツララができるかどうか再現してみた，ということでございます。（スライド交換）

そうしましたら，やはり１カ月ぐらい後にツララができてきて，これは間違いなく酸の雨が降ってツララができていることを証明された。こういう報道になっておりますので，聞いている人にコンクリートが酸性の雨によってどんどん溶けているということが疑いもなく頭に入ってくるわけでございます。

ＮＨＫはさらに，こういう現象は日本だけでなく世界的な問題にもなっているとも言っております。（スライド交換）

さらに最近の骨材の事情にも話が及んで，炭酸カルシウムは石灰石という，セメント原料に使われている

ものが，最近はコンクリート用骨材としても非常に使われる量が増えてきた。石灰石をコンクリート骨材に使いますと砂岩のような普通の骨材に比べて固まるのが少し早くなって強度が余計出るので喜ばれて使われている。酸に溶ける石灰石がコンクリート構造用骨材として使われているということは，ますますコンクリートが危なくなってくるということが考えられるというのです。（スライド交換）

ある鉱物学者はこのテレビに出演して，コンクリートに石灰石を使うと中性化が早く進んでいくという実験的結果が出ているから，間違いなく酸の影響を受けているようだということを言っております。（スライド交換）

さらにＮＨＫは外国に取材にいくわけです。ワシントンポストの４月９日付のニュースによりますと，アメリカにも巨大なツララが出ているというニュースが出ているとか，アッシドレイン，酸性雨が石を溶かしている。石を変質させているので非常に危ないという報道がなされている，ということが紹介されてます。（スライド交換）

例えばワシントンに行ってみましたら，昔の博物館の飾り物，これは大理石が石灰石かどっちかでできておったんですが，酸性雨に溶けて表面がぼろぼろになっている。これは酸性雨中の硫酸によって炭酸カルシウムが石膏にかわっていったということの説明を外国人が行っています。（スライド交換）

リンカーンメモリアルホールという有名な博物館がございますが，そこの地下室にもぐってみると，ものすごく見事なツララが地下室の天井から下がっていた。まるで鐘乳洞に入ってるようだったと説明し，酸性雨は危険で，コンクリートを溶かしているという印象を加えております。（スライド交換）

そして，担当者が言うには――後ろにありますのはサンフランシスコの地震被害ですが――コンクリート構造物はだんだんいろんな事情で悪くなっている，コンクリート構造物は一旦壊れると直すのが大変である。アメリカには現在25兆の公共事業費のうち維持管理・補修にかかっているのは７兆である。日本はそれに近い23兆の公共事業費のうち維持管理費はわずか１兆しかかけていない。コンクリート構造物をしっかりつくらないと，アメリカのようにたくさんの維持管理費が要るようになってくる。早くコンクリート構造物を含めて酸性雨等の対策を講じてしっかりやっていかないと大変なことになるんじゃなかろうか，ということで結んでいるのでございます。

総合的に言いますと，酸性雨等の被害に対して対策を講じていかなければいけない。維持管理費もこれから準備していかなきゃいけないことに関しては私どもも賛成ですが，酸性の雨によってコンクリート構造物がどんどん溶けて，ツララができるほど溶けてしまうのか，ということに対しては多少疑問がございます。（スライド終了）

ＮＨＫの主張どおりとしますと，要点は，酸性の雨というのは硝酸とか硫酸，そういう酸が含まれている。コンクリートとか石灰石は炭酸カルシウム（鉱物名はカルサイトと呼ぶ）が含まれているので酸に溶ける。だから例えばこういう式ですね。石灰でできたもの，石灰石とかコンクリートがあって，それに例えば硝酸のような雨が降ってくると硝酸カルシウムというものができて，だんだん溶けていってしまう。だからコンクリートは酸性雨に溶ける。その証拠にツララが出ているじゃないかというストーリーでございます。

私ども専門の者が見ますと，もうちょっと補足しなければいけないところもあります。というのは，ツララはコンクリートに漏水があると発生するのですが，雨に当たるところばかりではないのです。例えばトン

ネルの中とか，あるいはボックスカルバートとか，ダムの監査廊の中とか，コンクリートでつくった構造物で水の漏る場所があれば，雨に当たるとか当たらないとか関係なく常に発生するのです。最近ツララが特に多くなったわけではなくて，昔から発生しているという事実は，どうも最近の雨の中の酸が濃くなってきてツララができたという説明とは反するような気がいたします。

それから，雨の中の酸はＰＨ4.5と言っていますけれども，4.5というのはどのくらいかというと，ＰＨの定義の仕方は，10^{-4}～10^{-5}の水酸化イオンがあるということでございます。普通，例えば水酸化イオン濃度が1は10^{0}，0というのは塩酸30～40gを1リットルの水の中に溶かして初めてＰＨ0になる。ＰＨ4とか5はその1万分の1とか10万分の1の濃度です。年間我が国は1,500ミリぐらいの雨が降るのですが，このぐらいの雨の量で雨の濃さがＰＨ4.5ぐらいですと石灰石が1mm溶けるのに1,000年もかかる計算になるのです。

詳しい計算はお手元の資料に書いてございますが，簡単に説明しますと，例えばＰＨ5の雨が1,500ミリ降りますと酸の量が0.0474当量しか降ってこないのです。それから，コンクリートの石灰石が1m^2について1mm減りますと2,700ｇ溶けるのですが，1ｇ溶けるのに50gの当量の酸が要るわけです。こうやって計算しますと2,700ｇの石灰石を溶かすのに54ｇ当量の酸が要る。1年間に降る雨の酸の量が0.0474当量とすると千数年という計算で，1mm平均に石灰石を溶かすためには今の雨の濃さでは1,000年ぐらいかかる。このようなことは簡単な計算で常識的にわかるものですから，どうしても酸性雨によってコンクリートが溶けてツララが出ているという説明にはおかしさがあるわけです。

最もおかしいのは，酸によって石灰石が溶けますと，できるものは硝酸で溶ければ硝酸カルシウム，塩酸に溶ければ塩化カルシウムができるのですが，そういうものは非常に水によく溶けるものですから，溶けた結果ツララになって残らないで，どんどん水になって滴ってしまうわけです。ですから現在コンクリート構造物にみられるツララは違う理由でできているわけです。

それは，コンクリートの中には生石灰あるいは水酸化アルカリという，鉱物の成分の名前で言うと水酸化カルシウムというアルカリがセメント使用量の20%ぐらい含まれているのです。セメントの成分が石灰ですからこういう石灰ができるわけです。水酸化アルカリというものは鉄筋を錆びさせない有効な働きをしているのですが，強度その他には余り関係ないのです。

この水酸化アルカリは，水がしみ込みますと水に溶けて石灰水となって表に出てくる。石灰水となってきた水酸化カルシウムは空気中に出てきますと炭酸ガスに当たって炭酸カルシウムという水に溶けないものができるのです。この炭酸カルシウムが一箇所に集中してできるとツララとなる。また平均的に一様にできるとコンクリートの表面が真っ白になって，白樺現象とかエフロレンツセンスとか言うものになります。またツララにならないで，べったり白いものとして表面につきますと，よく土木の人たちは遊離石灰だと申します。ツララはこういう呼び方で昔から知られているもので，何も酸によって溶けて出てくるんじゃないのです。

では，事実を確認するためにどういうことをすればいいのか，ということで今，土木研究所はこういう方法で事実確認調査をしております。その進行状況をお話ししますと，ツララは漏水のあるところではどこでも発生していることを全地建にお願いいたしましてツララの調査をやっていただいております。たくさんあ

りますからどこを選んで写真を撮りますかなんて話もあるくらいで，余りたくさん集めても仕方がないから，代表的なところを10箇所なり20箇所集めて写真を送ってください，ということをお願いしています。土木研究所は送っていただいたところから選んで，各地建に10箇所程度ずつツララの出ているところをコンクリートコアを抜いてもらっております。いろんなところからツララが出ていることをまず確認しています。

それから中性化速度に関しては，酸の雨に当たると酸によって中性化がどんどん進んでいくんじゃないかという説明がありましたので，中性化速度は本当に雨のかかるところが速いのか，あるいは雨のかからないところがむしろ速いのかも調べております。雨のかかるところは濡れている時間も多いし，雨に当たると中のアルカリがしみ出してしまうので中性化しない。雨に当たらないところは常にコンクリートが乾いておって，炭酸ガスが奥までしみいって中性化が速く進む，こういうことは昔から私共も知っておりますので，これをデータ的に確認しようじゃないか，ということでデータをとっております。

3番目としまして，ひび割れの近くが本当に成分が流れ出してしまい強度が落ちているかどうかを確認するために，ひび割れの近くとかひび割れのないところを同じ構造物からコンクリートを取り出しまして圧縮強度試験をやって，強度の差を調べています。あるいはツララの成分が酸とかアルカリに影響を受けているのであれば，いろんな成分のツララがあるんじゃないかと言うことになりますが，実際私たちの考えは，どこで取れるツララでもコンクリートのアルカリが溶けて出てくるのであればみんな同じ成分じゃないかということですので，このことも確認作業を続けています。

さらにコンクリート供試体をつくって酸の水を溶かし込むとツララができたと言われていますが，雨くらいの酸の濃さではコンクリートの中にちょっと入るとすぐにアルカリになってしまうので酸の影響なんかはほとんど出ないはずで，コンクリートのひびわれには雨くらいの酸の水を入れても，アルカリの水を入れても，あるいは中性の水を入れても，結果的に出来上がるツララは大きさその他に全く違いがないんじゃないかと思われます。これも実験的に確認してみようじゃないか，と実験を始めています。

極め付きは，ツララというものはコンクリート中のアルカリが出てきてツララになるのです。例えば高炉セメントのような石灰の水のないセメントを用いるとツララはほとんど出来ないんじゃないか，こういう確認実験もしています。

そして結論的には，今程度の酸性雨の濃度ではコンクリート構造物にはほとんど影響ありません。石灰石にも影響はありません。ツララはコンクリートの中の水溶成分が溶出してくるためにできるんだということ。そして，酸性雨の影響は，コンクリートは一番たくさんアルカリを持っている構造物だから安全であって，それよりむしろ植物とか金属とか，酸の影響を直接受けるものに対しての影響は大きいんじゃなかろうか。そちらの検討をすべきじゃないだろうか，そういう結論を出しているところです。

データでみますと，これは構造物の中性化の深さのグラフの例です。コンクリートコアを取ってきまして，その構造物はつくってから何年たったかということを横軸にとって，縦軸は表面から何ミリまで中性化しているかをあらわしております。建築の岸谷先生の有名な式がございまして，経過年数が多くなるとだんだん中性化が深くなっていきますよということがわかります。岸谷式によく合うのが乾いているところにあるコンクリートのデータです。ところが雨に当たるところはほとんど中性化しないか，一般的に言われている中性化の式よりもずうっと少ない中性化です。酸の雨が当たるところの方が当たらないところよりも酸の影響

を受けていない。要するにコンクリート中性化が大きくない。予測どおりの現象です。

それから強度の話ですが，たくさんコアを抜きましてコアの圧縮試験をしていますが，今まで出たものですと，代表的に橋梁の床版，橋台，カルバートというものに分けましてデータを見ています。床版ですと，マル印がひび割れのないところからとったコアの強度です。上の方に行くと強度が大きい。下の方にくると小さい。三角は大体同じところで取ったコアの強度です。横並びしています。ほとんどばらつきの範囲の中で，どっちが高くてどっちが低いということがわからない。橋台から取ったものも同じです。カルバートから取ったものでも同じです。

こうしますと，どうも強度的にひび割れのところが特に強度が落ちているということは言えないわけです。ただ，ひび割れの真上から取りますと供試体できませんので取っていません。ひび割れのごく近いところで，丸い供試体ができるところで取っています。ひび割れのごく近くでは強度的にはそんなに落ちていませんというデータになっております。

こういうところが中間の状況ですが，全国調査のときのスライドがございますのでお見せいたします。

（以下スライド）

これは土木研究所の地質化学部のコンクリート研究室でたくさん供試体を並べまして，ＮＨＫの実験では酸の雨だけ出ましたから，酸もアルカリも，中性もいろんな水を流しています。コンクリートも石灰でつくったコンクリート，スラグでつくったコンクリート，部屋の中にいっぱいこういう供試体をつくって今実験しているところでございます。映っておりませんが，床の部分には部屋いっぱい，いろんな酸の水をつくりまして，その水の中に供試体を入れまして，酸によってコンクリートがどのぐらいの速度で溶けるかという実験もしております。

実は，私たちが前から問題にしているのは雨じゃなくて酸性の川によるコンクリートの侵食でございます。雨は年間たかだか1,500立米しか降らないわけです。ところが川の流れは，絶えず，１年じゅう流れているわけですから，そのコンクリートの上を通過する水の量は何十万，何百万立米流れているわけです。それによって中和されていけばコンクリートもさすがにだめになるんじゃないか。

そのときの濃さはどのくらいの酸だろうか。私たちの今までの経験では，ＰＨ４ぐらいであれば大丈夫だと思うんです。ちなみにＰＨ４というのは東北地方の田沢湖とか，あの上流を流れる玉川とか，あのへんの酸性の濃い川ではＰＨ１ぐらいのものを一生懸命中和してＰＨ４ぐらいにしてたくさんのダムとか橋脚をその流れの中につくって安全にしているという私たちの事実がございます。そういう事実をここでもう一度確認してみようとしております。（スライド変更）

これが酸の中にコンクリートを浸しているところです。（スライド終了）

このようにいたしまして土木研究所もなるべく皆さんのわからないところの解明に努めて，土木行政に役立つような仕事をしておりますことに御理解をいただきまして，よろしく御協力をお願いいたします。

なお，供試体を集めるその他につきまして担当されて御協力願った方もおられると思います。いろいろ御協力ありがとうございました。この場をおかりしましてお礼を述べさせていただきます。

これをもちまして私の発表は終わりにさせていただきます。

粘土鉱物含有骨材の特性と利用上の問題点

九州地方建設局 河川部河川専門官
脇 坂 安 彦

1. はじめに

近年，良質な骨材の枯渇にともない，物理的にも化学的にも劣る骨材を使わざるを得ない状況になりつつある。化学的に不安定な骨材を使用したコンクリートの劣化の事例として著名であるのは，アルカリ骨材反応であろう。我が国でもアルカリ骨材反応の一種であるアルカリシリカ反応によるコンクリートの劣化が，1982年頃から認められるようになってきた。アルカリシリカ反応を起す骨材はシリカ鉱物（クリストバライト，トリディマイト，オパール，玉ズイ，微小な石英など）や火山ガラスを含む岩石である。

アルカリシリカ反応を起す岩石のほかにコンクリートにとって問題のある岩石としては，従来より硫化鉱物，粘土鉱物，濁沸石などを含む岩石があるといわれている（例えば，山田・有泉（1976）など）。これらのうち粘土鉱物の一種であるモンモリロナイト含有骨材を硫黄コンクリートに使用し，コンクリートを水浸させると破壊するといわれている。このようなことから，土木研究所ではモンモリロナイト含有骨材を対象に，コンクリートに使用した場合に生じる現象の把握，現象の機構の解明，骨材の良否の判定法の開発および無害化使用法の開発を目的に，関係機関と共同研究を行ってきた。ここでその結果について報告する。

2. モンモリロナイトとは何か

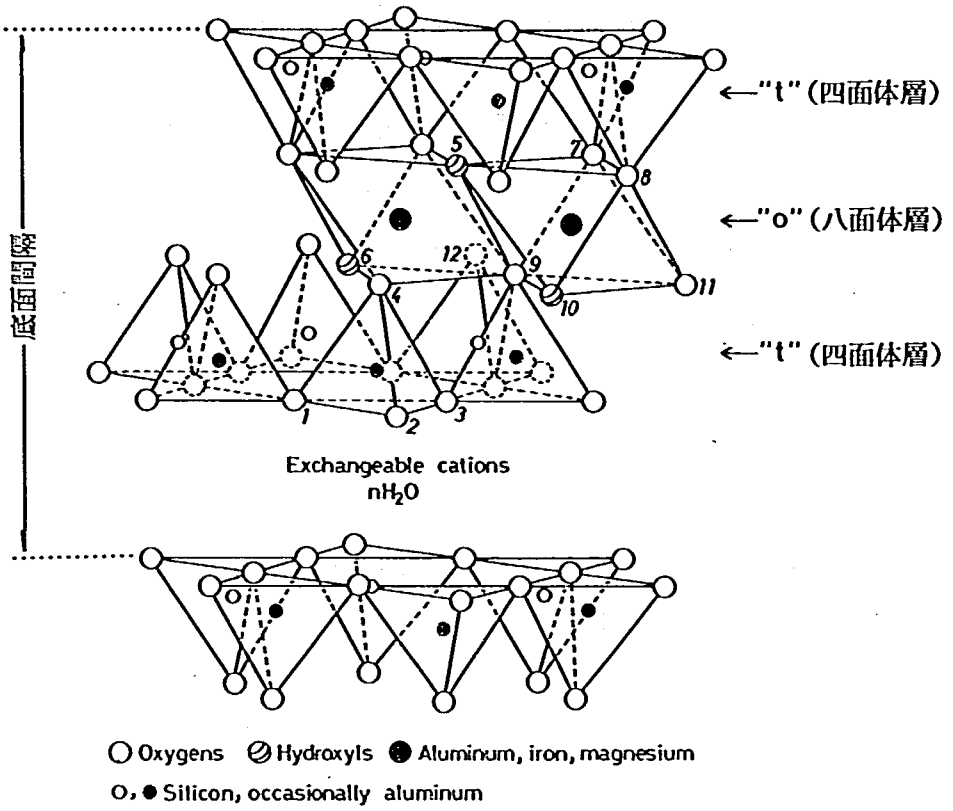
モンモリロナイトは粘土の主要構成物である粘土鉱物の一種である。モンモリロナイトの語は広義に使われる場合と狭義に使われる場合がある。広義のモンモリロナイトは正確にはモンモリロナイト族，モンモリロナイト鉱物あるいはスメクタイトと呼ばれ，表－1に示すような粘土鉱物全体を指している。一方，狭義のモンモリロナイトは，モンモリロナイト族に含まれる一鉱物である。ここではモンモリロナイトの語を広義に用いることにする。

表－1　モンモリロナイト族の構成鉱物

2八面体型	
モンモリロナイト	$\{E_{1/3}\cdot nH_2O\}(A\ell_{5/3}Mg_{1/3})[Si_4]O_{10}(OH)_2$
バイデライト	$\{E_{1/3}\cdot nH_2O\}(A\ell_2)[Si_{11/3}A\ell_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
ノントロナイト	$\{E_{1/3}\cdot nH_2O\}(Fe^{3+}_2)[Si_{11/3}A\ell_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
ボルコンスコアイト	$\{E_{1/3}\cdot nH_2O\}(Fe, Cr, A\ell)_2[Si, A\ell]_4O_{10}(OH)_2$
3八面体型	
サポナイト	$\{E_{1/3}\cdot nH_2O\}(Mg_3)[Si_{11/3}A\ell_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
鉄サポナイト	$\{E_{1/3}\cdot nH_2O\}(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+})_3[Si_{11/3}A\ell_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
	$\{E_{1/3}\cdot nH_2O\}(Fe^{2+}_3)[Si_{11/3}A\ell_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
ソーコナイト	$\{E_{1/3}\cdot nH_2O\}(Zn)_3[Si_{11/3}A\ell_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
ヘクトライト	$\{E_{1/3}\cdot nH_2O\}(Mg_{8/3}Li_{1/3})[Si_4]O_{10}(OH)_2$
ステブンサイト	$\{E_{0.33/2}\cdot nH_2O\}(Mg_{2.92})[Si_4]O_{10}(OH)_2$

2.1　モンモリロナイトの結晶構造およびイオン交換性

モンモリロナイトの基本層は，図－1に示すような2枚のSiO_4四面体層とそれらに挟まれて形成された1枚の八面体層とから構成されている。モンモリロナイトはこの基本層が何枚も積み重なって形成されている。八面体の中心は6つの酸素に囲まれており，構造的には六配位の位置である。モンモリロナイトは，この六配位のすべての位置に陽イオンが配置した3八面体型と2／3の位置に陽イオンが配置した2八面体型とに二分される（表－1）。



図－1　モンモリロナイトの構造模式図。Grim（1968）による。

モンモリロナイトの基本層内では$A\ell^{3+}$とMg^{2+}やSi^{4+}と$A\ell^{3+}$などの置換が行われているために，基本層は負に帯電している（これを層電荷という）。そこで電荷のバランスをとるために層間に陽イオンが入り，基本層を結合している。この陽イオンは層間陽イオンまたは交換性陽イオンと呼ばれ，モンモリロナイトを溶液に浸すと溶液中の陽イオンと比較的容易に交換するという性質をもっている。イオン交換力は次の順序で増大する（モンモリロナイトに入り易い）。

1価：$Li \leqq Na < K \fallingdotseq NH_4 < Rb < Cs$

2価：$Mg \leqq Ca < Sr < Ba$

1価のイオンと2価のイオンを比較するとほぼK^+とMg^{2+}の交換力が同じであるといわれている。

モンモリロナイトのイオン交換性は層間陽イオンにもたらされているもののほか，鉱物の表面に剥き出しになっている破壊結合対にもたらされているものもある。この破壊結合対に起因するイオン交換能は，粒子が小さくなる程（比表面積が大きくなる程），増加する。

以上のようなイオン交換力（能）は，陽イオン交換容量（ＣＥＣ）で表現される。ＣＥＣのほかに粘土鉱物から酢酸アンモニウム液で陽イオンを抽出し，化学分析をして求めた個々の交換性陽イオンの量として表わすこともある。理想的には，ＣＥＣと交換性陽イオンの総量とは一致するはずであるが，試料中の不純物の存在などによって一致しないことが多い。特に試料中に方解石（$CaCO_3$）が含まれていると，交換性陽イオンのCa^{2+}として方解石のCaも加算されるため，ＣＥＣよりも交換性陽イオンの総量の方が大きくなる。表－２は粘土鉱物の一般的なＣＥＣを示したものである。

表－２　粘土鉱物の一般的な陽イオン交換容量（ＣＥＣ）（須藤，1974）

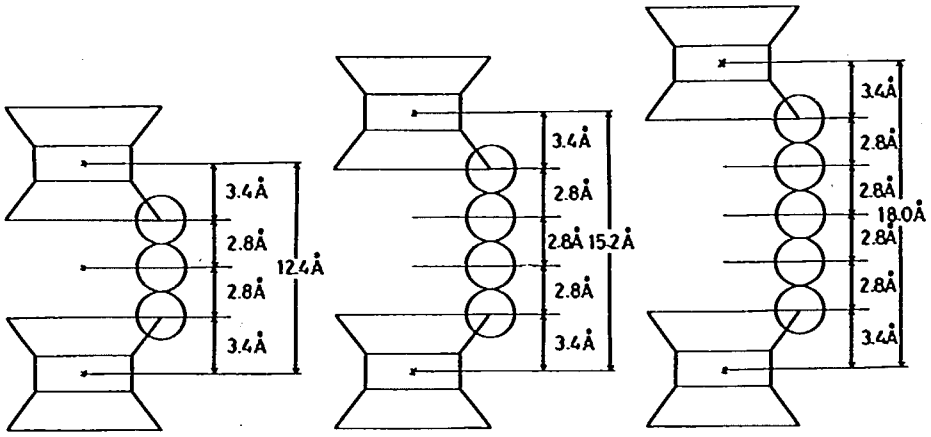
鉱　　物	陽イオン交換容量
バーミキュライト群	100～150me/100g
モンモリロナイト	80～150
カオリナイト	3～15
雲母粘土鉱物（Al，di.）	10～40
ハロイサイト	40～50
メタハロイサイト	5～10
セピオライト，パリゴルスカイト	20～30
緑　泥　石	10～40

2.2　水とモンモリロナイトの膨潤

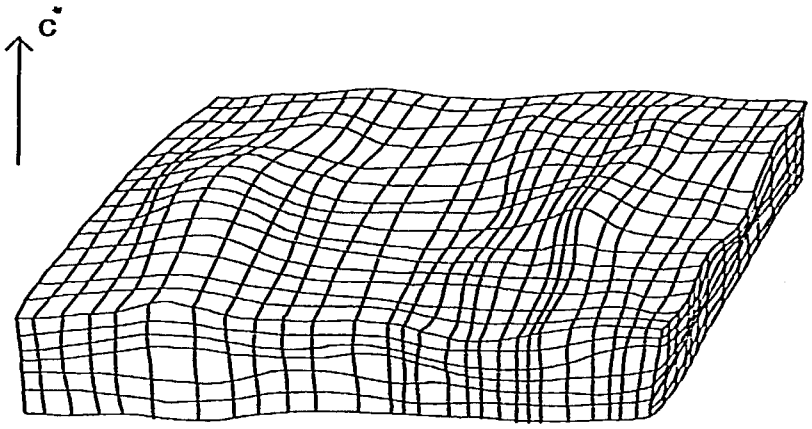
いままでに述べたようにモンモリロナイトの層間には電荷のバランスをとるために陽イオンが入っており，その陽イオンはイオン交換性を有している。この陽イオンが水和エネルギーをもっていることと，モンモリロナイトの層電荷が主に層間から距離がある八面体層（図－１参照）によってもたらされているために，層間に水分子が入ることができる。層電荷が層間に近い四面体層によって主にもたらされている雲母では，基本層と層間陽イオンとの間に強いクーロン力が作用し，層間が締まるために水分子は入ることはできない。このようにモンモリロナイトの層間に入ることのできる水の量は，層間陽イオンの水和エネルギー（すなわち，層間陽イオンの量比）と基本層と層間陽イオンとの間に働くクーロン力との兼合いによって決まっている。このほかに外的な条件としてモンモリロナイトの置かれている周囲の水分条件がある（相対湿度何%の湿気中か，あるいは水浸しているか）。イオンの水和エネルギーは１価のイオンよりも２価のイオンの方が大きく，クーロン力は１価のイオンよりも２価のイオンの方が大きく作用する。このため価数が増えると水和エネルギーは大きくなるので水は入り易くなるが，一方，クーロン力も大きくなるので逆に水は入りにくくなる。このようにイオンの価数と水の入り易さとの関係は複雑である。例えば，層間にCaが入っているモンモリロナイト（Ca型と呼ぶ）はNaが入っているモンモリロナイト（Na型）よりも相対湿度が低い状態では，水和エネルギーが大きいために多くの水を入れるが，水浸させると，Na型ではクーロン力が弱いためにCa型よりも多くの水を層間に含むことができる。

層間に水分子が入るためにモンモリロナイトの層間は，水分子の大きさだけ膨潤する。この膨潤の程度は

X線回折法により底面間隔を測ることにより知ることができる。底面間隔の測定結果によれば，水分子は基本的には図－2に示すように層間に積層して入っている。このモデルによるとモンモリロナイトの底面間隔は，段階的に12.4 Å，15.2 Å，18.0 Åなどしかとることができないことになるが，実際にはこれらの中間的な値も存在する。中間的な値を示すのは，モンモリロナイトの内部で，図－3のように水分子を一層含んだ領域や二層含んだ領域が混合しているからであると考えられている（渡辺，1988）。



図－2　モンモリロナイトの層間での水分子の積層状況（渡辺，1988）



図－3　モンモリロナイト粒子の模式図（渡辺，1988）

モンモリロナイトの膨潤の程度は，X線回折で測るほかに実際に吸着する水の量（吸水量）を測ることによっても知ることができる。このようにして測った吸水量と底面間隔から算出した吸水量とを比較すると，前者の方がはるかに大きい。これはモンモリロナイトの粒子と粒子との間に水が入るためであるといわれている。このような粒子間への水の侵入による膨潤は外部膨潤（粒子間膨潤），一方，層間への水の侵入による膨潤は内部膨潤（層間膨潤）として区別されている。

3. モンモリロナイト含有骨材を使ったモルタル及びコンクリートの性質

3.1　実験用骨材

モンモリロナイト含有骨材として4試料（A，B，C，I骨材）と，モンモリロナイトを含まない標準骨

材として2試料（K，L骨材）を使用した。表－3にこれらの骨材の性質を示す。モンモリロナイト含有骨材には7～23%のモンモリロナイトが含まれている。陽イオン交換容量はモンモリロナイト含有骨材で15～30meq/100g，標準骨材で3.9および8.7 meq/100gの値を示している。標準骨材の陽イオン交換容量は一般の鉱物の破壊原子対にもたらされているものと考えられる。

3.2　モルタルおよびコンクリートの配合

1）モルタルの配合

骨材は水洗し，絶乾状態で表－4に示す粒度に調製した。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。水セメント比は50%，砂セメント比は2.0とした。各砂は表乾状態で使用した。

2）コンクリートの配合

コンクリートは粗骨材，細骨材ともにモンモリロナイト含有骨材を使ったものと，粗骨材のみモンモリロナイト含有骨材を用い，細骨材には標準骨材を用いたものとを作製した。粗・細骨材の組合せによるコンクリートの種類を表－5に示す。

配合は粗骨材最大寸法：20mm，水セメント比：50%，細骨材率：42%，単位水量：185 kg/m^3，AE減水剤使用量：セメント×0.25%（粉末）とした。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。各コンクリートの目標空気量は4±1%とし，試験練りを行って空気調整剤により調整した。

3.3　フレッシュモルタルおよびフレッシュコンクリートの性質

1）凝結硬化速度

(1) 未処理骨材を使ったモルタル

図－4に示すようにモンモリロナイト含有骨材を使ったモルタルの始発時間，終結時間は標準骨材のモルタルに比べて著しく早くなっている。しかし，時間にはモンモリロナイト含有骨材間でも相異が認められる。

(2) イオン交換処理を行った骨材を使ったモルタル

既述のようにモンモリロナイトの層間陽イオンは比較的容易に他のイオンと交換できる。そこで骨材のイオン交換を行って凝結試験を行った。交換を行ったイオンはNa^+，K^+およびCa^{2+}である。図－5はイオン交換を行った骨材の始発および終結時間を示したものである。モンモリロナイト含有骨材の場合はいずれもK^+で交換した骨材よりもNa^+，Ca^{2+}で交換した骨材の方が始発，終結時間が早くなっている。一方，標準骨材の始発，終結時間はいずれのイオンで交換を行ってもあまり変わらない。このことは，モルタルの凝結硬化とモンモリロナイトの層間イオンとが何らかの関係を有していることを示しているものと考えられる。

(3) 骨材の含水比を変えたモルタル

骨材の含水比はモルタルの凝結硬化に影響を与えると考えられる。特にモンモリロナイトを含んでいる骨材の吸水率は非含有骨材の値よりも大きく，また，モンモリロナイトは吸水すると膨張するなどの性質をもっているため，含水比と凝結硬化との関連が予想される。そこで次のように骨材の含水比を変えて試験を行った。なお，単位水量は同一にしてある。

i）表乾状態の砂重量の5%増加分の含水状態の砂（＋5%の砂と呼ぶ）

ii）表乾状態の砂（0%の砂）

iii）表乾状態の砂重量の2%減少分の含水状態の砂（－2%の砂）

表－3　実験用骨材の性質，脇坂ほか（1990 a）に加筆

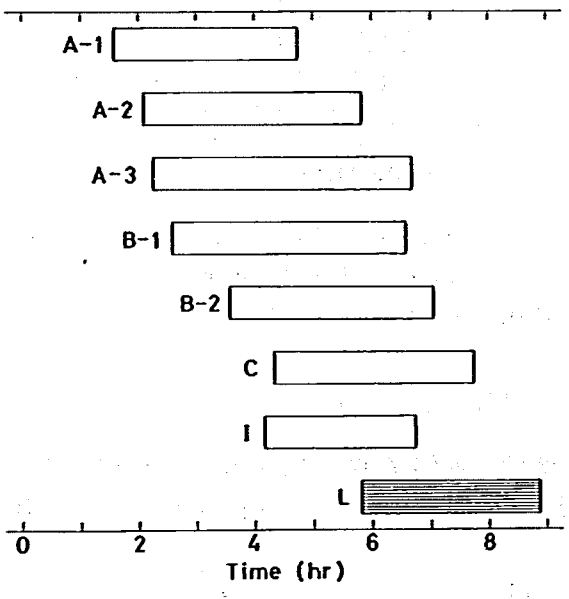
骨材		A－1	A－2	A－3	A－4	B－1	B－2	B－3	C	I	K	L
産地		北海道				青森県			宮城県	山形県	茨城県	佐賀県
岩型		輝石安山岩				粗粒玄武岩			含石英輝石安山岩	粗粒玄武岩	砂岩	玄武岩
生成年代		中新世				中新世			中新世	中新世	二畳紀	鮮新世
モンモリロナイト含有量 (%)		7 ～ 11				12 ～ 14			12 ～ 14	20 ～ 23	0	0
陽イオン交換容量 (meq/100g)		23.3	20.7	15.2	15.5	31.0	22.0	40.3	33.2	18.5	8.7	3.9
交換性陽イオン	Na (meq/100g)	7.0	0.87	0.86		0.40	0.41	0.6	1.0	3.2	0.6	0.7
	K 〃	0.34	0.34	0.35		0.20	0.26	0.2	0.2	0.3	1.1	0.4
	Ca 〃	16.0	16.7	16.05		24.0	20.9	45.9	58.9	17.3	64.0	2.9
	Mg 〃	2.74	3.98	4.75		4.20	4.01	13.5	6.4	5.6	1.6	2.1
	Total 〃	26.08	21.89	22.01		28.8	25.58	60.2	66.5	26.3	67.3	6.1
吸水率 (%)		5.03	4.33	4.40	4.55	4.03	3.26		3.57	3.73	1.72	2.86
表乾比重		2.51	2.53	2.53	2.52	2.68	2.68		2.61	2.68	2.60	2.79

表－4　細骨材の粒度分布（市川ほか，1990）

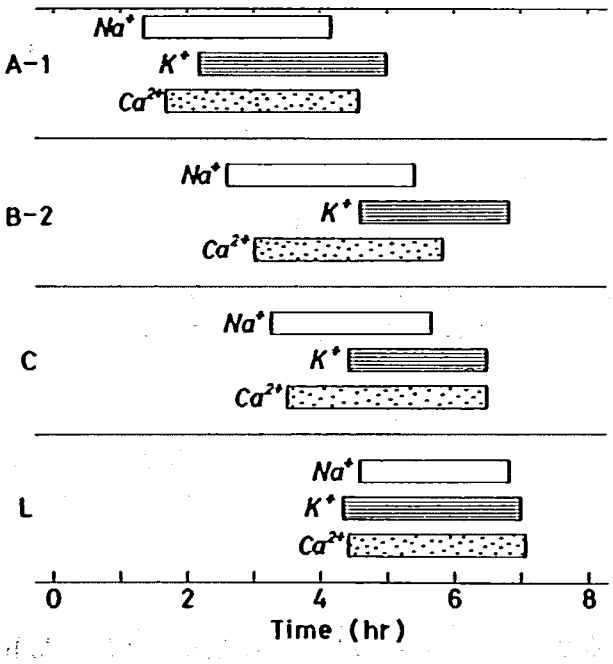
粒　　度	質量百分率（%）
4.75 ～ 2.36 mm	9.5
2.36 ～ 1.18 mm	23.0
1.18 ～ 0.60 mm	23.0
0.60 ～ 0.30 mm	23.0
0.30 ～ 0.15 mm	14.0
0.15 mm 以下	7.5

表－5　粗骨材，細骨材の組合せによるコンクリートの種類

No.	粗骨材	細骨材	No.	粒骨材	細骨材
1	A － 4	A － 4	6	A － 4	K
2	B － 3	B － 3	7	B － 3	K
3	C	C	8	C	K
4	I	I	9	I	K
5	K	K	－	－	－



図－4　未処理骨材を使ったモルタルの始発，終結時間。市川ほか(1990)より作成。



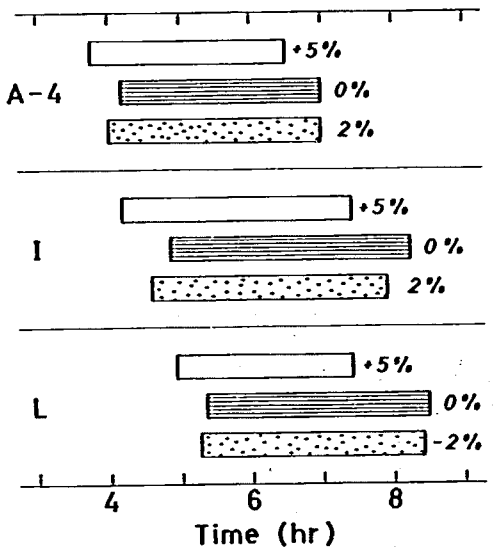
図－5　イオン交換を行った骨材を使ったモルタルの始発，終結時間。市川ほか(1990)より作成。

図－6は始発および終結時間を示したものである。＋5％の砂と－2％の砂で比較すると，いずれの骨材も＋5％の砂の方が始発，終結時間ともに早くなっている。しかし，＋5％と－2％の砂の中間になるべきはずの0％の砂の時間は，いずれの骨材の場合も最も遅くなっている。このように骨材の含水比と凝結硬化との間には系統的な関係は認められない。

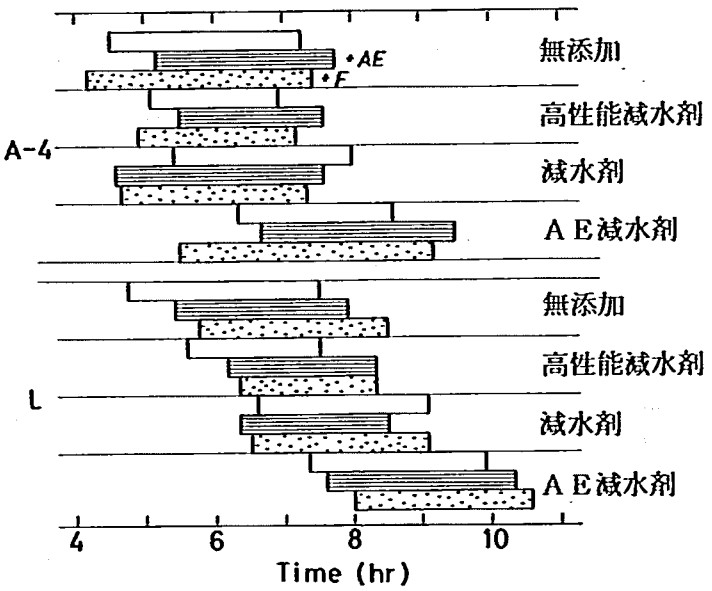
(4) 混和剤を添加したモルタル

通常のコンクリートには種々の混和剤が添加されている。そこでこれらの混和剤の効果をみるための実験を行った。使用した混和剤の種類および組合せを表－6に示す。

図－7は混和剤を添加したモルタルの始発，終結時間を示したものである。標準骨材で混和剤ごとに凝結を遅延させる効果を比べてみると，効果のある順に，ＡＥ減水剤，減水剤，高性能減水剤，ＡＥ剤となる。それぞれの混和剤にさらにＡＥ剤，フライアッシュを加えたものの効果はばらついており，明瞭ではない。一方，Ａ－4骨材では遅延効果が顕著に認められるのは，ＡＥ減水剤のみである。そのほかの混和剤ではプレーンコンクリートとほぼ同じか，遅延効果があっても1時間程度である。このようにモンモリロナイト含有骨材であっても遅延形の混和剤を用いれば，凝結時間を遅くすることが可能である。



図－6　骨材の含水比を変えたモルタルの始発，終結時間。市川ほか（1990）より作成。



図－7　混和剤を添加したモルタルの始発，終結時間。ＡＥはＡＥ剤，Ｆはフライアッシュである。市川ほか（1990）より作成。

表－6　使用した混和剤の組合せ（市川ほか，1990）

			AE剤・アビエチン酸塩・ヴィンソル		フライアッシュ
			無添加	添加	添加
無添加			a	e	i
減水剤	ナフタリンスルホン酸塩	マイティM100	b	f	j
ＡＥ減水剤	リグニンスルホン酸塩	ポゾリスNo.8	c	g	k
高性能減水剤	メラミンスルホン酸塩	メルメントF10	d	h	l

(5) コンクリート

図－8はコンクリートの始発，終結時間を示したものである。C－Kを除いて標準コンクリートであるK－Kよりも，始発，終結時間ともに早くなっている。このような現象はいずれの骨材でも，粗骨材，細骨材ともにモンモリロナイト含有骨材を用いたコンクリートの方が，粗骨材のみ含有骨材を用いたものに比べて顕著である。A－Kコンクリートでは標準コンクリートとあまり差がなく，C－Kコンクリートでは標準コンクリートよりも遅くなっている。このようなことから，コンクリートの凝結硬化に与える影響は粗骨材よりも細骨材の方が大きいと考えられる。

2）フロー値

(1) 未処理骨材を使ったモルタル

I骨材を除いてモンモリロナイト含有骨材ではフロー値が小さくなる傾向にある（図－9）。特にA－1骨材で著しい。このようにモンモリロナイト含有骨材は程度の差があるが，コンシステンシーが小さい。

(2) イオン交換処理を行った骨材を使ったモルタル

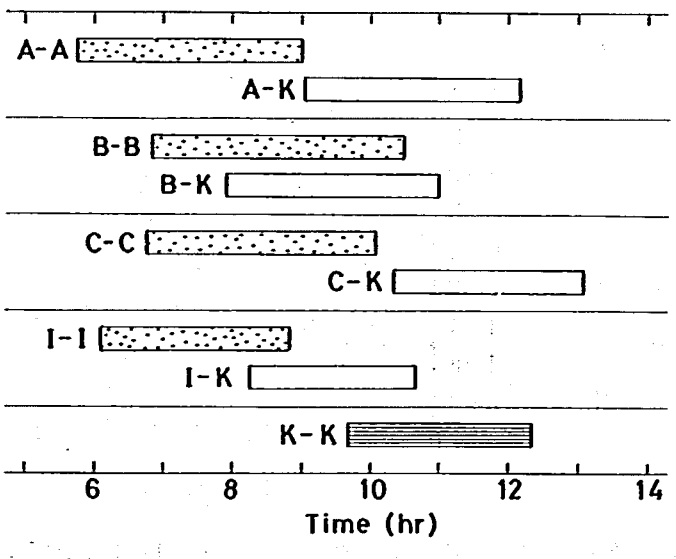
図－10はイオン交換処理を行った骨材のモルタルのフロー値を示したものである。A－1骨材を除いてどのイオンで交換を行ってもフロー値にはあまり変化はない。これは，凝結時間がイオンの種類によって変化していたことと異っている。A－1骨材では，Naでイオン交換を行った試料のフロー値が最も小さくなっている。

(3) 骨材の含水比を変えたモルタル

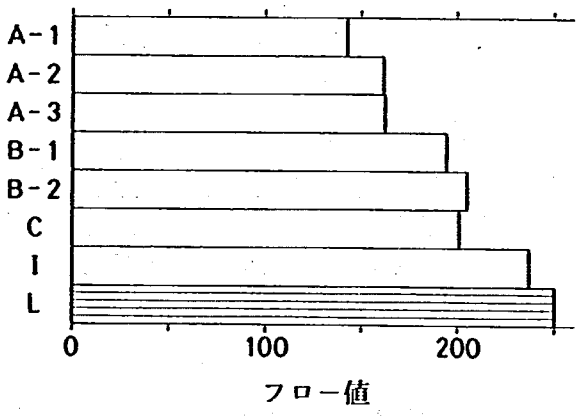
骨材の含水比を変えたモルタルのフロー値には，凝結時間の場合と同様に系統的な変化は認められない（図－11）。

(4) 混和剤を添加したモルタル

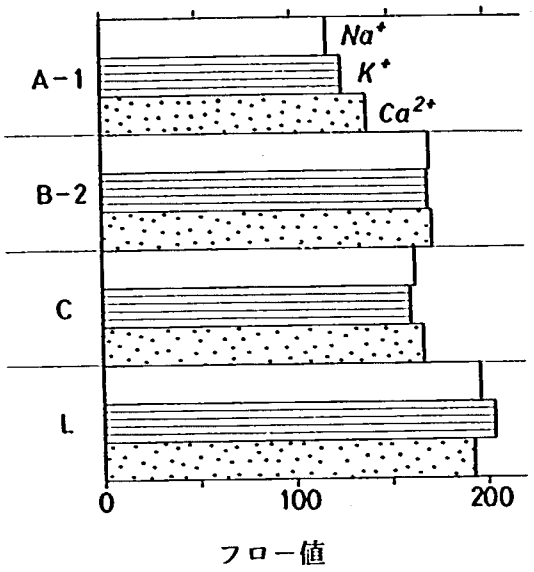
無添加のモルタルに比べてフロー値が最も大きくなっているのは減水剤を添加した組合せである。次いで



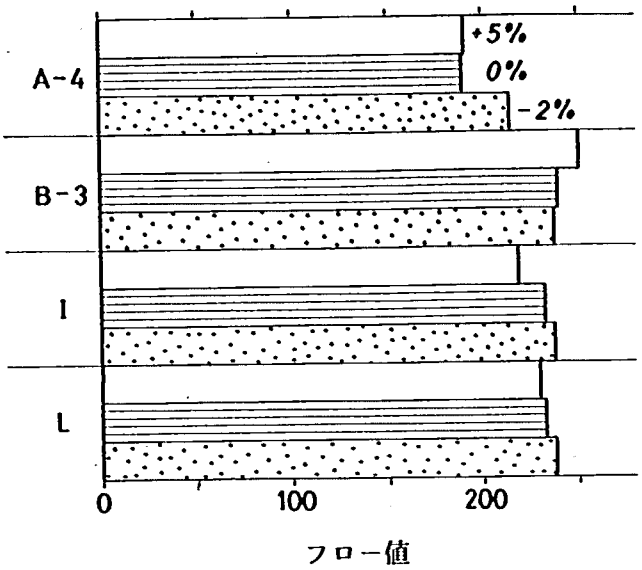
図－8　コンクリート（未処理骨材使用）の始発，終結時間。市川ほか（1987）より作成。



図－9　未処理骨材を使ったモルタルのフロー値。市川ほか（1990）より作成。



図－10　イオン交換を行った骨材を使ったモルタルのフロー値。市川ほか（1990）より作成

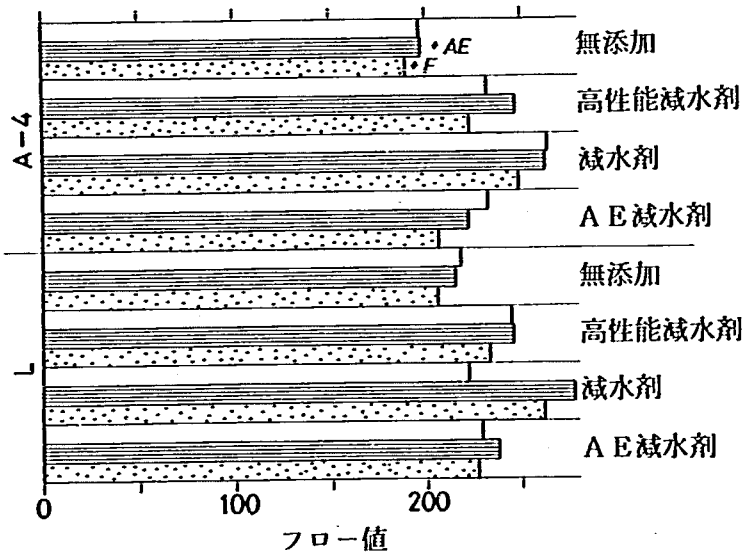


図－11　骨机の含水比を変えたモルタルのフロー値。市川ほか（1990）より作成。

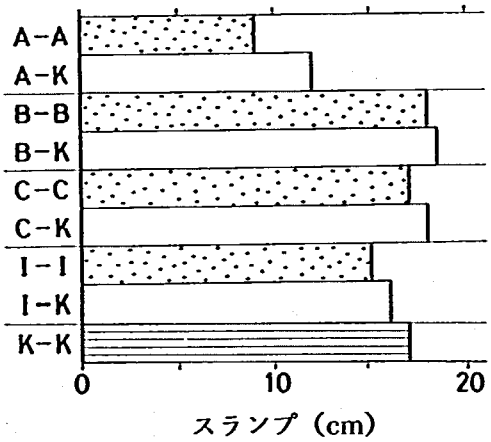
高性能減水剤，ＡＥ減水剤の順となっており（図－12），効果の程度は凝結時間の場合と異なっている。また，ＡＥ剤，フライアッシュをさらに添加した組合せでは，フライアッシュを添加するとフロー値が小さくなる傾向が認められる。

3）スランプ

図－13はコンクリートのスランプを示したものである。A骨材を使ったコンクリート（A－A，A－K）では，標準コンクリートに比べてスランプが小さくなっているが，他の骨材では，標準コンクリートとの間



図－12　混和剤を添加したモルタルのフロー値。ＡＥはＡＥ剤，Ｆはフライアッシュである。市川ほか（1990）より作成



図－13　コンクリート（未処理骨材使用）のスランプ。市川ほか（1987）より作成。

に差は認められない。ただし，同一骨材のコンクリートで比較すると，粗骨材，細骨材ともにモンモリロナイト含有骨材を使用したものの方が，粗骨材のみのものよりもスランプが小さい傾向が全骨材について認められる。

4）まとめ

モンモリロナイト含有骨材を使用したフレッシュモルタルおよびコンクリートは非含有骨材（標準骨材）を使用したものに比べてフロー値が小さく，凝結が早いという性質をもっている。なお，コンクリートのスランプは一部のもので標準骨材に比べて小さい。

凝結時間は骨材のイオン交換を行うと，イオンの種類によって異なってくる。Na，Caで交換を行うと凝結は早くなり，Kで交換を行ったものでは，標準骨材と変わらなくなってくるものもある。骨材の含水比を変えても単位水量が一定であれば，凝結時間は変化しない。凝結時間を遅延させるのに最も効果がある混和剤は，遅延形のＡＥ減水剤である。

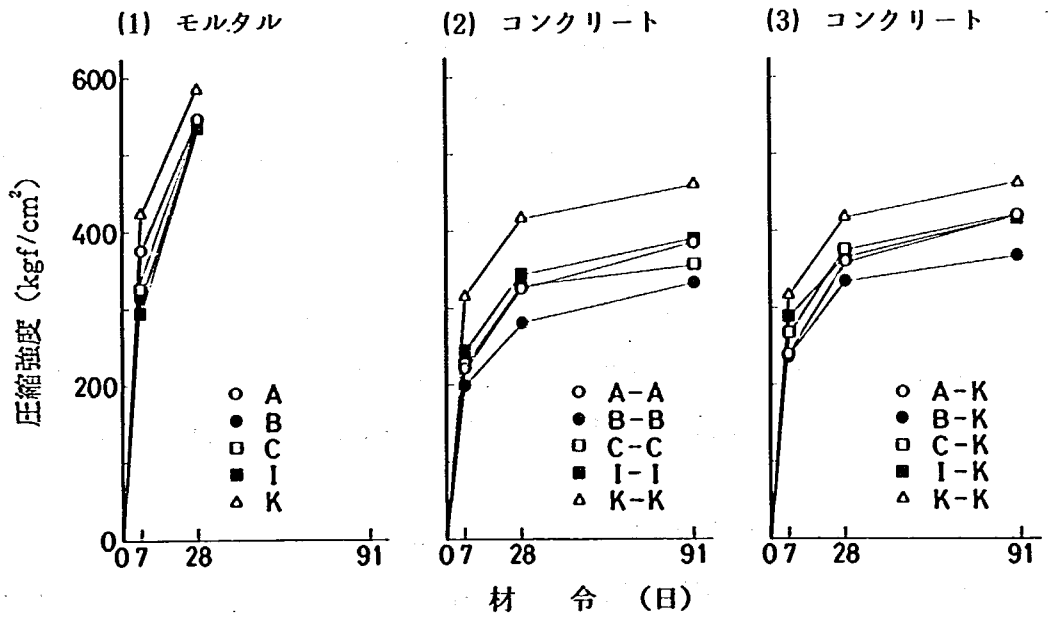
フロー値には，骨材のイオン交換や含水比の調整を行っても顕著な変化は認められない。フロー値を大きくする効果があるのは減水剤である。

コンクリートの凝結時間は粗骨材，細骨材ともに含有骨材を使った場合に比べて粗骨材のみの使用では遅くなる。

3.4　硬化モルタルおよび硬化コンクリートの性質

(1) 圧縮強度

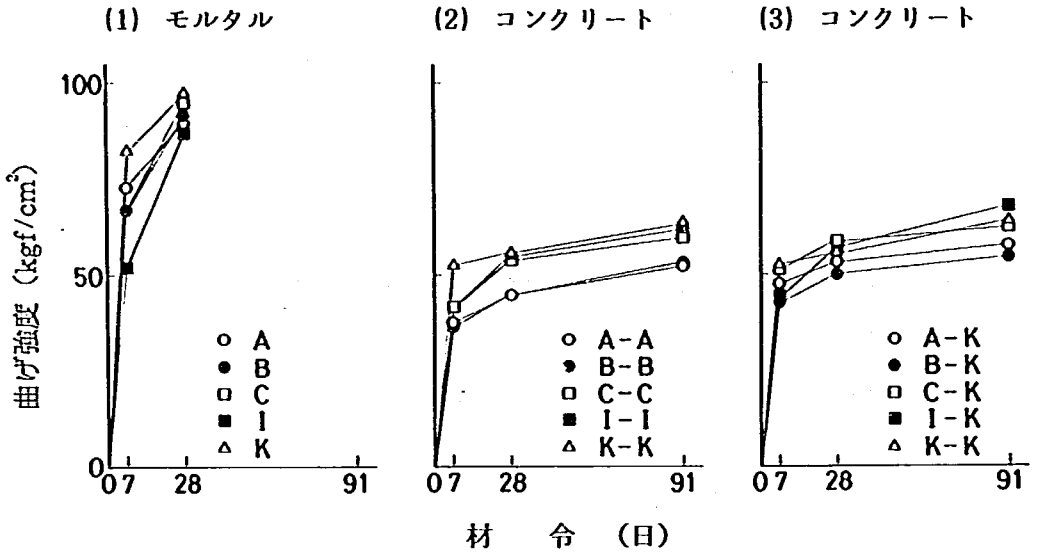
図－14はモルタルおよびコンクリートの圧縮強度の経時変化を示したものである。いずれの場合も標準骨材を使ったものよりもモンモリロナイト含有骨材を使ったものの方が強度は小さくなっている。しかし，モルタルの場合は28日材令で標準骨材の91～93%の強度を示しており，あまり変わりがない。他方，コンクリートでは，粗・細骨材ともに含有骨材の場合は，材令91日で69～81%，粗骨材のみ含有骨材の場合は，78～89%と強度は小さくなっている。



図－14　モルタルおよびコンクリートの圧縮強度の経時変化。市川ほか（1987）より作成。

(2) 曲げ強度

曲げ強度は含有骨材で圧縮強度のように特に小さいことはない（図－15）。モルタルでは標準骨材の89～98％（28日材令），コンクリートでは82～97％（粗・細骨材とも含有骨材，91日材令），85～105％（粗骨材のみ含有骨材，91日材令）の強度を有している。なかでも，Ｉ－Ｋコンクリートの曲げ強度が標準コンクリートよりも大きくなっていることが注目される。



図－15　モルタルおよびコンクリートの曲げ強度の経時変化。市川ほか（1987）より作成。

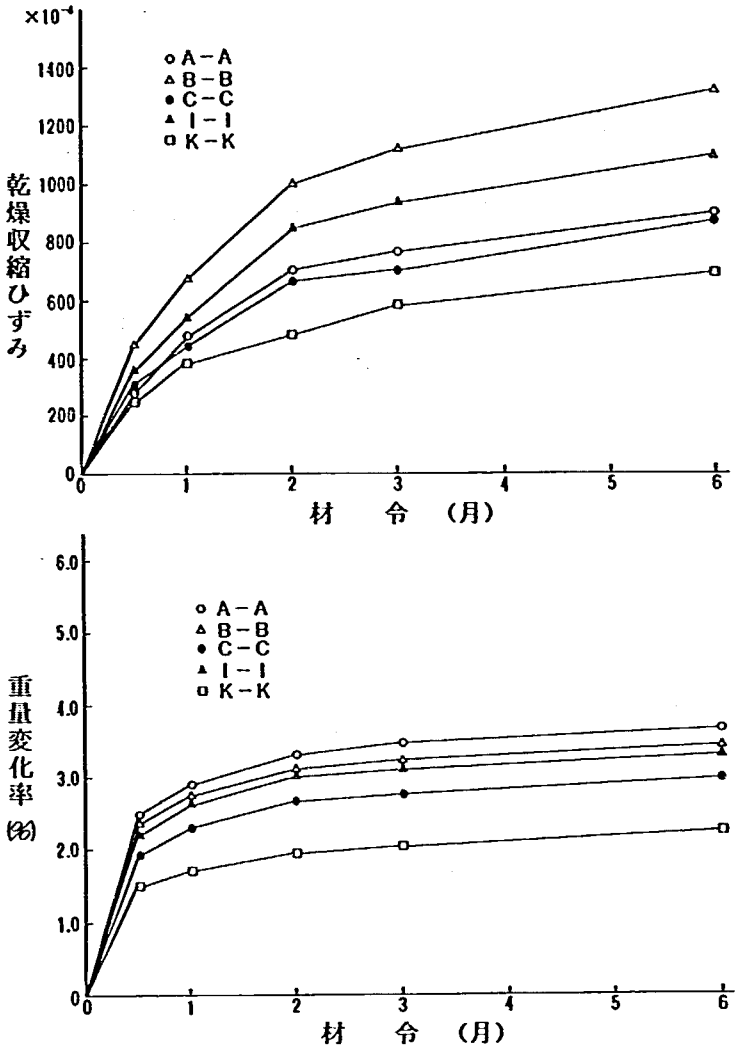
(3) 乾燥収縮

コンクリート供試体（10×10×40cm）を20℃，60％ＲＨの恒温恒湿室におき乾燥収縮の状況を測定した。図－16は乾燥収縮による収縮率および重量変化率の経時変化を示したものである（以降では，コンクリートの試験結果は，標準骨材との相異が大きい粗骨材，細骨材ともにモンモリロナイト含有骨材を使ったシリーズについてのみ述べる）。収縮率をみると，いずれの骨材でも材令２カ月までは収縮が進行している。一方，重量変化は0.5カ月までは急速であるが，それ以降の変化は緩慢である。また，収縮率，重量変化率ともに含有骨材の方が，標準骨材よりも大きい。これは，モンモリロナイトの脱水による収縮と重量の減少の影響を示しているものと考えられる。なお，材令12カ月の供試体にもひび割れ等は発生していない。

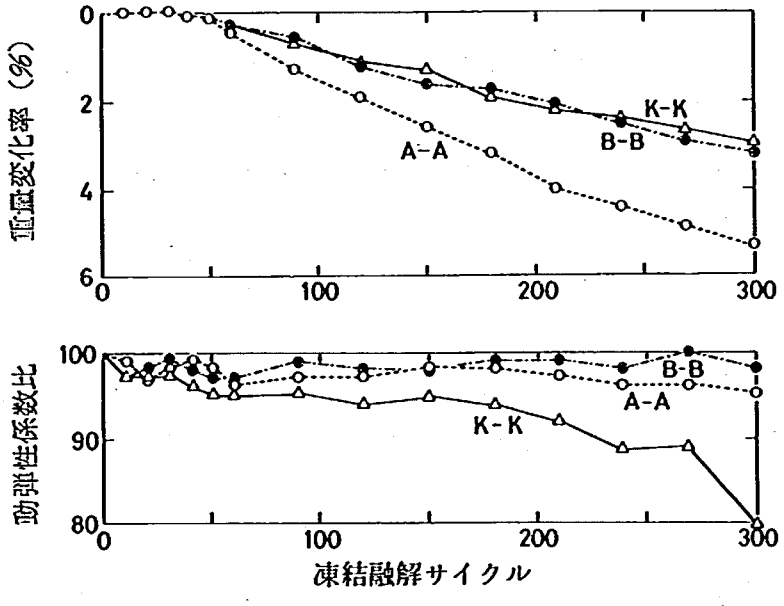
(4) 凍結融解

図－17は凍結融解によるコンクリート（10×10×40cm）の重量変化率と動弾性係数比の経時変化を示したものである。凍結融解300サイクル時における重量減少率は，最大でもＡ－Ａコンクリートの5.4％であり，他の骨材のコンクリートでは２～４％である。図のようにＡ－Ａコンクリート以外の重量減少率は，標準コンクリートと相異がない。

300サイクル時における動弾性係数比が最も低いのは，標準コンクリートであり，74％になっている。モンモリロナイト含有骨材コンクリートの比は90％以上であり，良好である。このようにモンモリロナイト含有骨材コンクリートの凍結融解に対する抵抗性は問題ないと考えられる。これは，各コンクリートとも十分



図－16　コンクリートの乾燥収縮によるひずみと重量変化率の経時変化（市川ほか，1987）

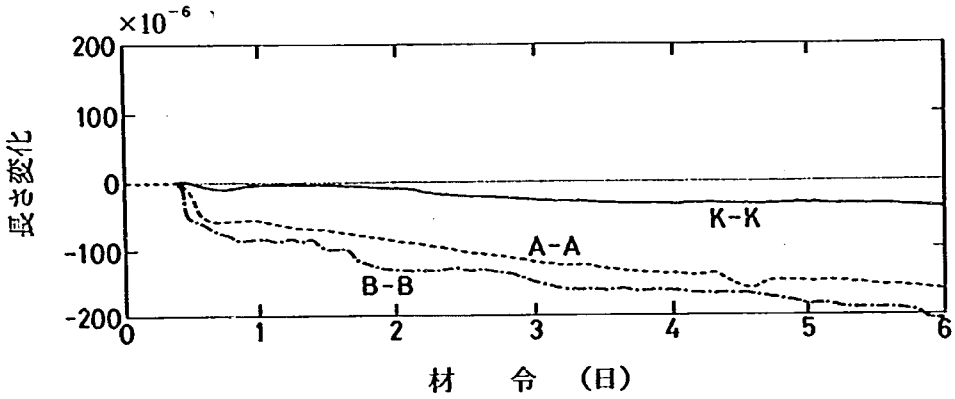


図－17　コンクリートの凍結融解による重量変化率と動弾性係数比の経時変化。市川ほか（1987）より作成。

な空気量（4.6～4.9％）が確保されていたのが一因と考えられる。

(5) 若材令期の長さ変化

コンクリート供試体（10×10×40cm）にひずみゲージおよび熱電対を埋め込み，20℃，90％ＲＨ以上の恒温恒湿室内に保存し，ひずみおよび中心温度の測定を行った。図－18は長さの経時変化を示したものである。長さの基点は始発時間にとってある。乾燥収縮の場合と同様に含有骨材で作ったコンクリートのひずみは，標準コンクリートのひずみよりも大きくなっている。標準コンクリートのひずみは材令６日で40μ程度であるのに対し，含有骨材コンクリートでは 150 μ（Ａ－Ａ），200 μ（Ｂ－Ｂ）となっている。



図－18　若材令期のコンクリートの長さ変化。
市川ほか（1987）より作成。

(6) まとめ

モンモリロナイト含有骨材を使ったモルタル，コンクリートの圧縮強度は，モルタルでは標準骨材とあまり相異がなく，コンクリートではやや標準骨材よりも小さい。しかし，絶対値としてはいずれも300kgf/cm^{2}以上の値を有しており，問題はないと考えられる。

曲げ強度はモルタル，コンクリートともに含有骨材と標準骨材でほぼ同様な値を示している。以上のようなことを勘案すると，含有骨材コンクリートの圧縮強度が小さかったのは，骨材自体の強度が小さかったためであると考えられる（事実，原石の圧縮強度は標準骨材よりも含有骨材の方が小さい傾向がある）。

凍結融解に対する抵抗性は，含有骨材と標骨材との間に差はなく，問題はない。

コンクリートを20℃，60％ＲＨや20℃，90％ＲＨ以上の条件においた実験では，含有骨材のひずみの方が標準骨材よりも大きかった。

このように，含有骨材を使った硬化モルタル，コンクリートで標準コンクリートと比べて顕著な差が認められたのは，収縮ひずみである。しかし，ひずみは大きくてもひび割れは生じておらず，実用上は問題ないと考えられる。

4. 早期凝結現象のメカニズム

これまでに述べてきたように，モンモリロナイト含有骨材を使ったモルタルおよびコンクリートで最も問

題となるのは，早期に凝結硬化することである。

この早期凝結現象のメカニズムを検討するため，コンクリートのブリージング水の化学組成，骨材も浸漬したセメントミルクの化学組成，モルタル細孔溶液の化学組成，フレッシュおよび硬化モルタル中の骨材の組成，水和発熱，水和生成物などの測定を行ってきた。ここでは，モルタル細孔溶液の化学組成，水和発熱，水和生成物について述べ，早期凝結現象のメカニズムについて考察することにする。

4.1　モルタル細孔溶液の化学組成

細孔溶液の化学組成は，練り混ぜしたモルタル供試体をシリンダーに挿入してピストンで圧縮して得られた溶液を化学分析して求めた。図－19は代表的な骨材（他に比べ層間陽イオンのNaが多いA骨材とCaが多いB骨材）の細孔溶液組成の経時変化を示したものである。

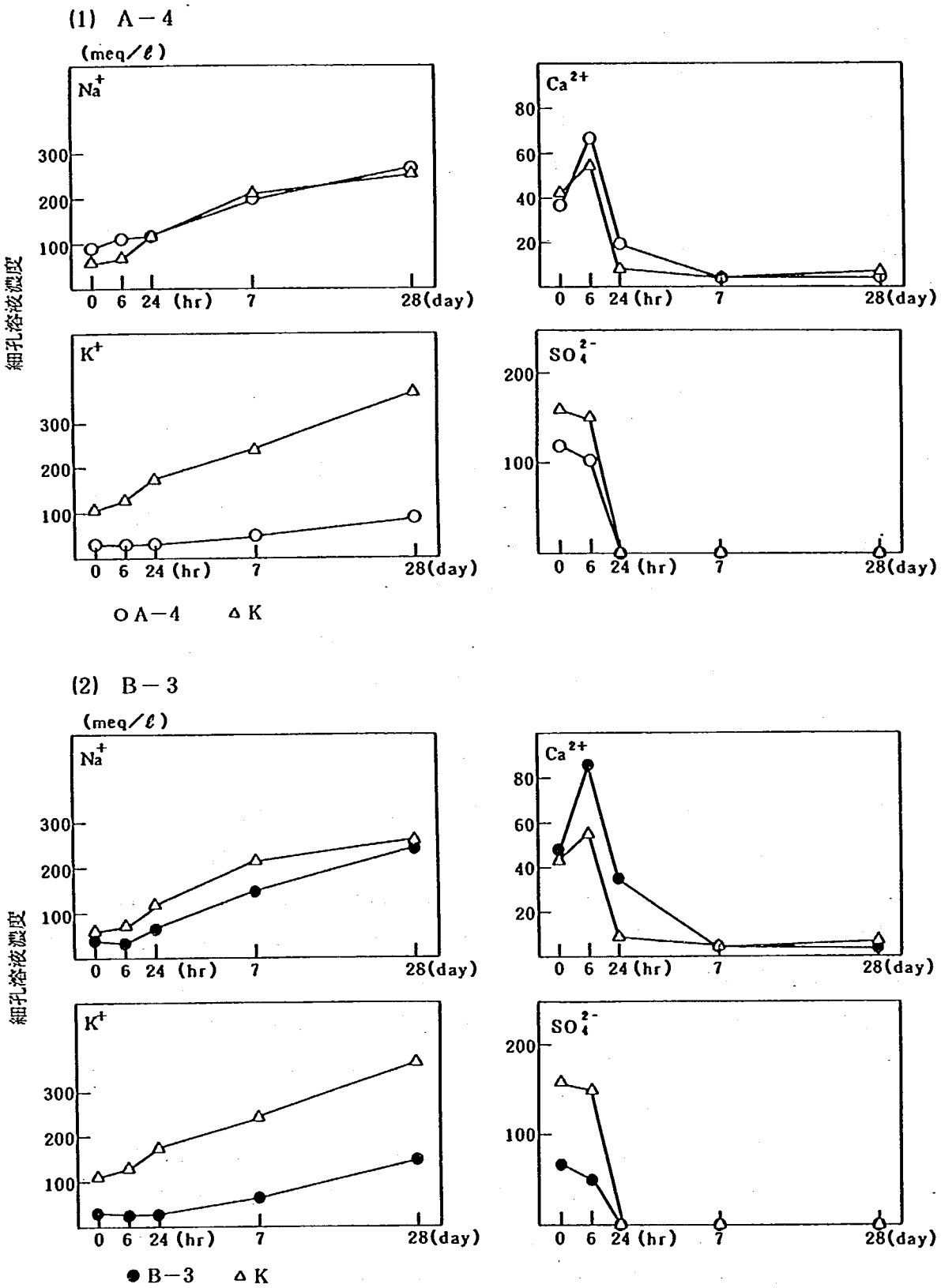
A，B骨材で共通しているのは，標準骨材（K）と比べて，K^+とSO_4^{2-}の濃度が低く，時間の経過とともにCa^{2+}の濃度が高くなっている（初期材令のみ）ことである。A骨材ではNa^+濃度は初期材令で標準骨材よりも高く，一方，B骨材では全材令にわたって標準骨材よりも低くなっている。

このような細孔溶液の組成は，モルタル細孔溶液とモンモリロナイト含有骨材との間でイオン交換反応が行われていることを示唆している。図－20は骨材中の層間陽イオン濃度と細孔溶液濃度（一般的な濃度と考えられる標準骨材の）との差と含有骨材と標準骨材との細孔溶液濃度の差との関係を示したものである。図のように，ある層間陽イオンの濃度がそのイオンの標準骨材の細孔溶液の濃度よりも高い場合には，そのイオンの含有骨材の細孔溶液濃度は標準骨材の細孔溶液濃度よりも高い。逆に層間陽イオン濃度が標準骨材の細孔溶液濃度よりも低い場合には，含有骨材の細孔溶液濃度は標準骨材の細孔溶液濃度よりも低い。すなわち，含有骨材中のモンモリロナイトの層間陽イオンと細孔溶液との間のイオンの濃度差で，イオン交換反応が図－21のように行われていると考えられる。具体的には，細孔溶液中の濃度が最も高く，層間陽イオンの濃度が低いKイオンは，細孔溶液からモンモリロナイト（骨材）へ入る。一方，層間陽イオン濃度が高く，細孔溶液濃度が低いCaイオンは，モンモリロナイトから細孔溶液中へはき出される。Naイオンの挙動は骨材によって異なっており，層間にNaイオンが多いA骨材では，モンモリロナイトから細孔溶液中へはき出され，Naイオンが少ないB骨材では，細孔溶液からモンモリロナイトへ入る。ここで留意しておかなければならないのは，2.1で述べたイオン交換力である。同濃度のNaとK溶液中にモンモリロナイトを浸漬すると，Kイオンが選択的にモンモリロナイト中に入る。このような作用も加味されて，モンモリロナイト中へはKイオンが吸着されるものと考えられる。

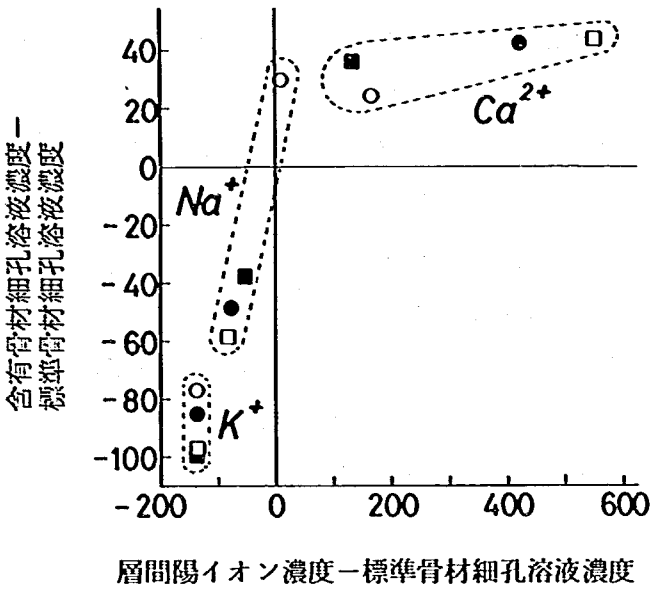
図－19では既述のようにK，Na，SO_4イオンの濃度差は0時間から認められるが，上記のメカニズムで溶液中にはき出されているはずのCaイオンの濃度差は初期材令では認められない。これはCaイオンがモンモリロナイトからはき出されることによって，細孔溶液中に存在しているため，セメント中の石膏の分解が抑制されるためと考えられる。そしてSO_4イオン濃度が低いのも石膏の分解が抑えられるためと考えられる。

4.2　水和発熱過程

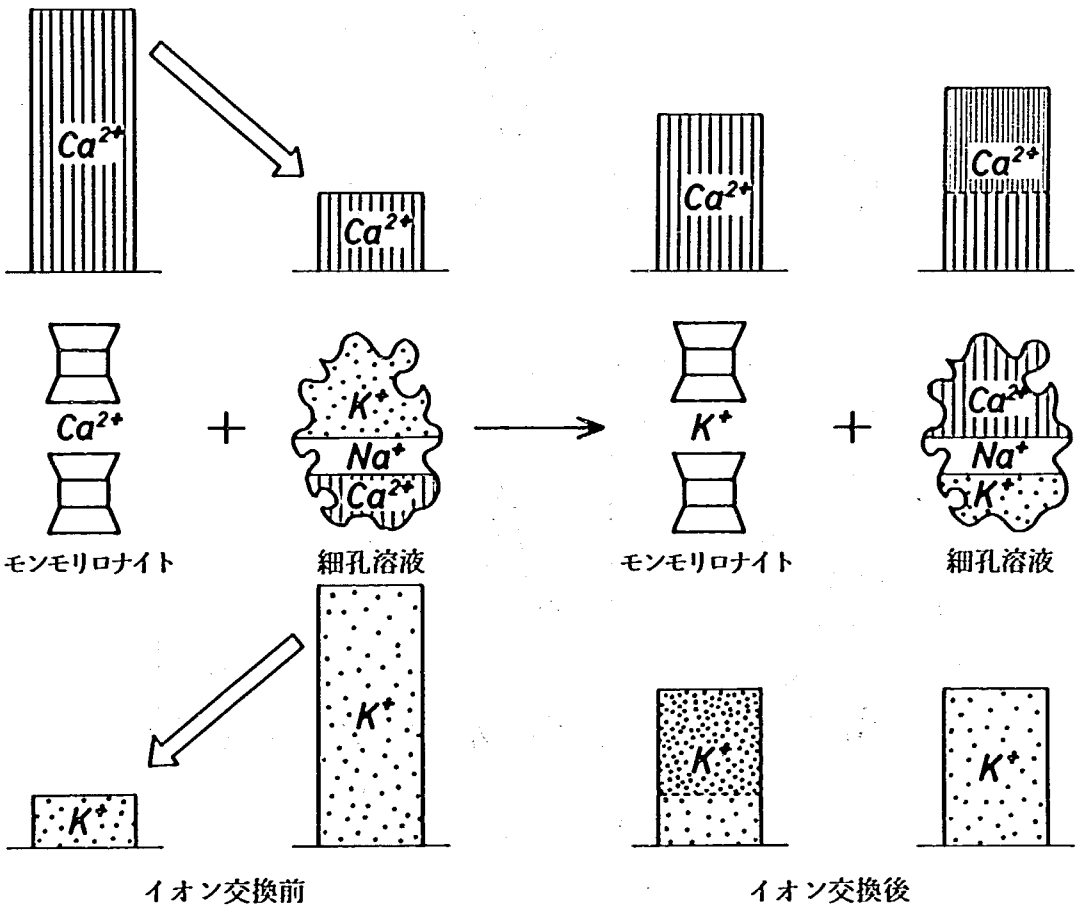
セメント（モルタル，コンクリート）は，その中に含まれている珪酸塩やアルミン酸塩が水和反応によって水和生成物を作ることによって，凝結硬化していく。この水和反応の様子は，水和反応によって生じる熱



図－19 A－4骨材およびB－3骨材を使ったモルタルの細孔溶液濃度の経時変化（市川ほか，1987）。



図－20　層間陽イオン濃度と標準骨材の細孔溶液濃度との差と
含有骨材と標準骨材の細孔溶液濃度の差との関係



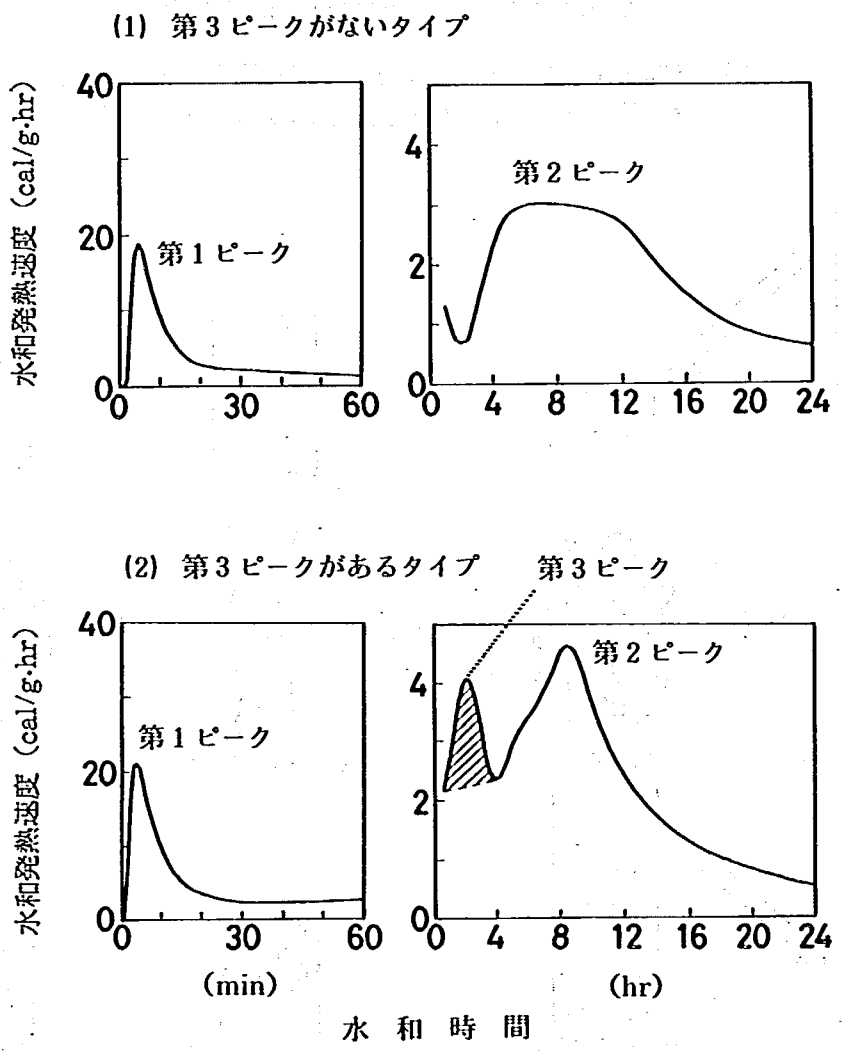
図－21　モンモリロナイトと細孔溶液との間のイオン交換反応の様子

を測定することから予測することができる。

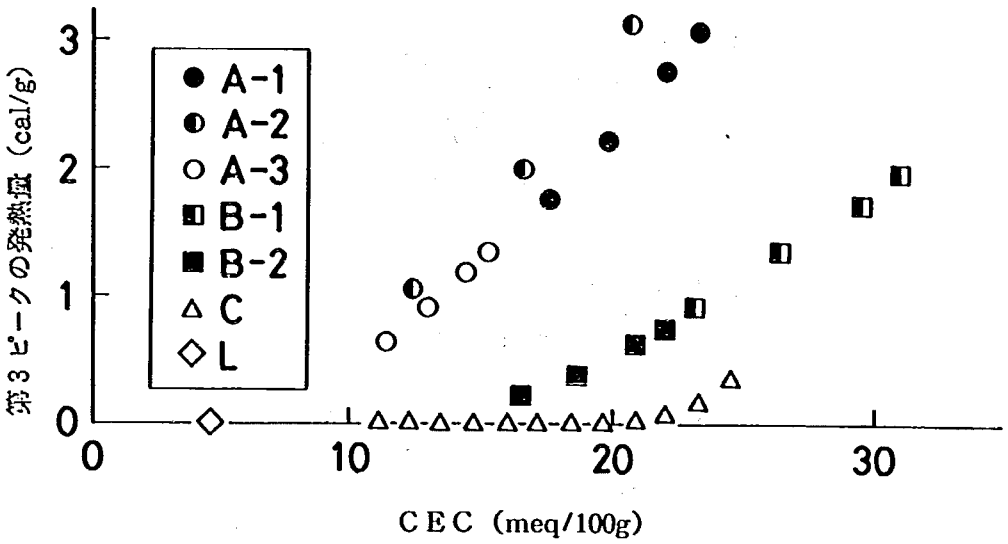
図－22は代表的なモルタルの水和発熱曲線の例を示したものである。水和発熱曲線は図のように第３ピークの有無によって二大別することができる。第３ピークがないタイプには標準骨材（L）およびC骨材の一部が該当し，第３ピークがあるタイプには，C骨材以外の含有骨材が該当する。このように，含有骨材の水和発熱曲線には，第３ピークが現われることが特徴的である。

図－23は骨材中のモンモリロナイト含有量（CECで表現）と第３ピークの発熱量との関係を示したものである。骨材によって系統は異なっているが，モンモリロナイト量が増加すると第３ピークの発熱量も増大する傾向がある。このような第３ピークの発生は，田中（1980）が述べているC_3A（$3CaO \cdot A\ell_2O_3$）が通常より多すぎる場合，または石膏添加量が少なすぎる場合に当るものと考えられる。

以上のように含有骨材を使ったモルタルの水和反応は，標準骨材コンクリートと異なっている。



図－22　水和発熱曲線の代表例。脇坂ほか（1990a）を改変。



図－23　ＣＥＣと第３ピークの発熱量との関係。第３ピークの発熱量は図－22(2)の斜線部を積分したものである（脇坂ほか，1990ａ）。

4.3　水和生成物

水和発熱過程で予測された含有骨材モルタルと標準骨材モルタルの水和反応の相異を明確にするために，モルタル中に生成されている水和物の同定を行った。モルタルの水和反応は，所定の時間にメチルエチルケトンを添加することにより停止させた。水和を停止させたモルタル試料について，Ｘ線回折分析と示差熱分析を実施した。

その結果，含有骨材モルタルと標準骨材モルタルで顕著な相異が認められたのは，第３ピークの前後で比較した示差熱曲線に認められる石膏の脱水ピークである（図－24）。図－25は石膏の脱水ピークの面積から算出した石膏の反応率の経時変化を示したものである。標準骨材モルタル（Ｌ）では，水和開始後30分とその後の石膏反応率は60％程度で，ほとんど変化がない。これに対して，含有骨材では，水和開始後30分の反応率は10～40％程であったのが，第３ピーク後には50％～100％になっており，大きく変化している。

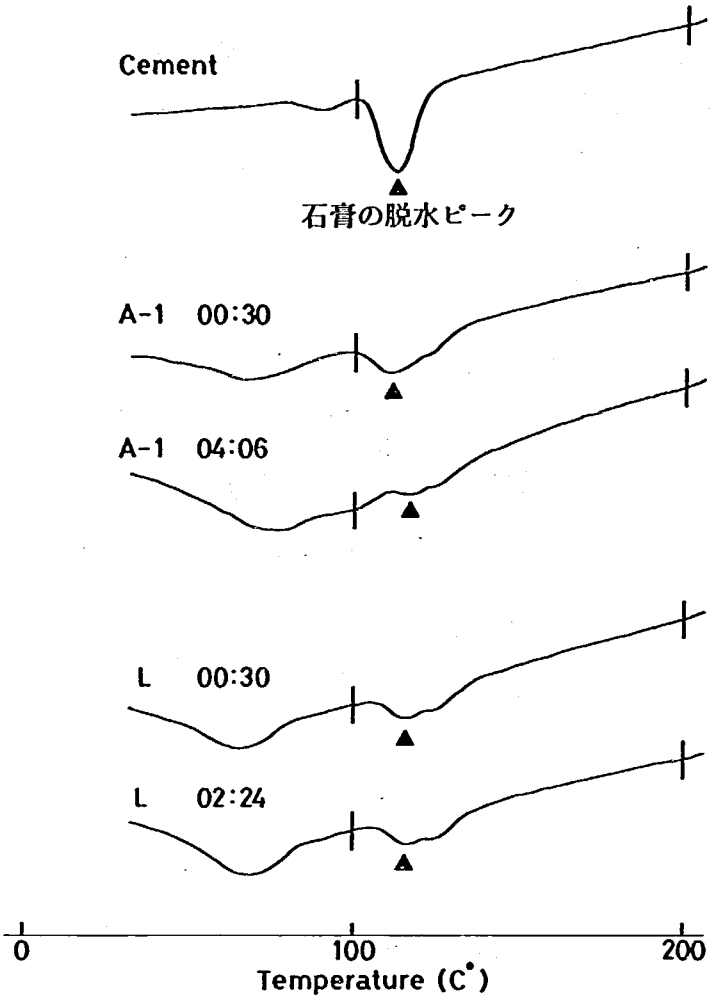
以上のことから考えると，含有骨材の水和発熱過程で認められた第３ピークは，石膏がエトリンガイトに変化している反応によるものであったと考えられる。

4.4　早期凝結現象のメカニズム

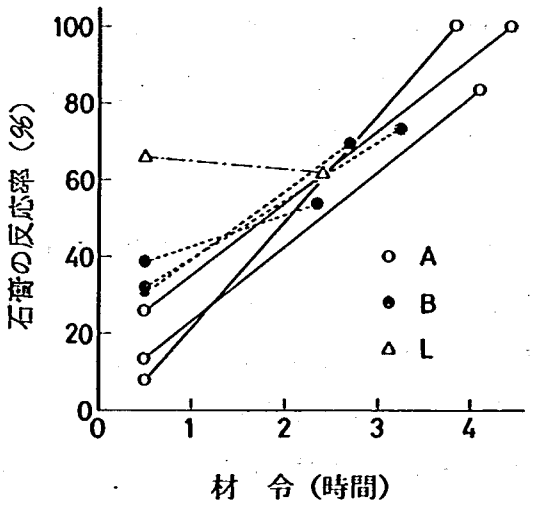
いままでに述べてきたことを総合すると，モンモリロナイト含有骨材を使ったモルタルおよびコンクリートの早期凝結は次のようにして生じていると考えられる。

ⅰ）モンモリロナイト含有骨材とモルタル細孔溶液が接すると，直ちに骨材中のモンモリロナイトと細孔溶液との間でイオン交換が行われる。イオン交換はモンモリロナイトの層間陽イオンと細孔溶液の濃度差および交換力の大小によって行われる。具体的にはモンモリロナイト中のCa^{2+}が細孔溶液中にはき出され，逆に細孔溶液中のK^{+}がモンモリロナイト中に吸着される。

ⅱ）細孔溶液中のCa^{2+}がモンモリロナイトからもたらされるため，セメント中の石膏は分解できなくな



図－24　未水和セメントおよび含有骨材，
標準骨材モルタルの示差熱曲線



図－25　モルタル中の石膏の反応率の経時変化

る。このようにセメントの急結を防ぐために添加されている石膏の反応率が低下する。

ⅲ）石膏の反応が抑制されるためC_3Aの水和が進行し，凝結が生じる。この反応は大門（1989）によると次のようである。

$$2\,C_3A + 21H \longrightarrow C_4AH_{13} + C_2AH_8$$

さて，天然産のモンモリロナイトの層間陽イオンとしては，Ca^{2+}が最も多いので，ⅰ）のようなイオン交換が生じていると考えられ，ⅱ）以降のような凝結のメカニズムが考えられる。しかし，イオン交換を行った骨材の試験結果では，Naイオンで交換した骨材のモルタルの凝結もCaイオンで交換したものと同様に早かった。この骨材を使ったモルタルの早期凝結のメカニズムは次のように考えられる。

ⅰ）モンモリロナイト中のNa^+と細孔溶液中のK^+との間でイオン交換が行われる。この結果，モンモリロナイト中のNa^+は細孔溶液中に出てくる。

ⅱ）細孔溶液中のNa^+は$Ca(OH)_2$と反応してNaOHとなる。

ⅲ）NaOHは荒井（1984）によるとC_3A，C_3Sとすみやかに反応して多量のC－A・H，C－S－Hゲルをいっきに生成し，セメントを凝固させる。

以上のように，層間にCaが多いモンモリロナイトとNaが多いものでは，別のメカニズムでモルタル，コンクリートを早期に凝結させているものと考えられる。

5. おわりに

モンモリロナイト含有骨材をモルタルやコンクリートに使用した場合，最も問題となるのは早期に凝結することである。このような現象の出現によってコンクリートのワーカビリチーが低下すると考えられるからである。一方，硬化後のモルタル，コンクリートの性質にも標準骨材と比べ劣るものがいくらかあるが，いずれも実用上は問題ないと考えられる。

早期凝結現象はモンモリロナイトと細孔溶液との間でイオン交換が行われ，これによってセメントの水和反応に異常が生じ起っていると考えられる。このため，モンモリロナイト含有骨材の良否を判断するには，骨材中のモンモリロナイト含有量のみではなく，層間陽イオンの量比にも留意する必要がある。このようなモンモリロナイトの性質は原石山毎に異なっており，また，早期凝結の状況は，コンクリートの配合やセメントの化学組成などによっても異なっていると考えられる。このため，各原石山毎に適切な試験を行い，骨材の良否の判断を行う必要がある。

モンモリロナイト含有骨材を使用するに当っては，ⅰ）細骨材として使用しない，ⅱ）予め骨材をKイオンで交換しておく，ⅲ）遅延形の混和剤を添加するなどの対策が考えられる。

この資料に述べてきたことは，土木研究所地質研究室と（株）間組，（株）熊谷組および大成建設（株）との共同研究によって得られた成果である。本資料は，市川ほか（1987，1990），脇坂ほか（1990a，b）にその後得られた成果を追加して作成した。

参考文献

荒井康夫（1984）セメントの材料化学．258p．大日本図書。

大門正機編訳（1989）セメントの科学．96p．内田老鶴圃．

Grim, R. E.（1968）Clay Mineralogy（2nd ed.）．McGraw－Hill.

市川　慧ほか15名（1987）粘土鉱物含有骨材を使用したコンクリートの劣化に関する共同研究報告書（その1）．共同研究報告書，第4号，86p．建設省土木研究所．

市川　慧ほか13名（1990）同上（その2）．共同研究報告書，第38号，86p．建設省土木研究所。

須藤俊男（1974）粘土鉱物学．498p．岩波書店．

田中弘文（1980）セメント化学雑論のはじめに．セメント・コンクリート，№396，53－58.

脇坂安彦・宇治公隆・林　順三・佐々木肇（1990a）モンモリロナイト含有骨材を使用したコンクリートの物理的性質．コンクリート工学年次論文報告集，12－1，733－738.

脇坂安彦・藤原　靖・前田照信・三谷　哲（1990b）モンモリロナイト含有骨材とセメントの鉱物化学的反応．同上，12－1，739－744.

渡辺　隆（1988）膨潤性粘土鉱物概論．66p．建設省土木研究所地質研究室．

斜面安定度調査手法

土木研究所 土質研究室 主任研究員
三木博史（落石・崩壊）
〃　急傾斜地崩壊研究室 主任研究員
西川純一（岩石崩壊）
〃　地すべり研究室 主任研究員
近藤観慈（地すべり）
〃　砂防研究室 室長
石川芳治（土石流）
〃　動土質研究室 室長
古賀泰之（盛土）

a）落石・崩壊

最初に，落石・崩壊について説明に入る前に防災点検ガイドブックをつくるに至った経緯について簡単に説明させていただきたいと思います。

御承知のように，道路防災点検が始まりましたのは昭和43年の国道41号の飛騨川バス転落事故が契機になっております。このときは43年8月18日に事故が起こって，1カ月の間に点検要領をつくって9月18日に通達が出て，総点検を行ったわけですが，その後，その様式が余り変わらないで昭和43年に第1回の総点検，それから46年，51年，55年，61年という形で総点検が行われてきております。大体4年から6年ぐらいの間隔をあけてやってきていまして，61年の次は平成3年度ぐらいが予定されていたのですけれども，平成1年7月16日に，福井県の国道305号で岩石崩壊事故が起こりまして，1年間総点検の時期を早めるということが昨年8月に決定されました。

落石覆工関係については，7月16日に福井県の岩石崩壊事故が起こってすぐ，7月19日に落石覆工設置箇所の緊急点検が行われて，そういったものも今回のガイドブック作成に取り入れられております。

昨年8月以降主に作業を開始したのがここにあります落石・崩壊と岩石崩壊です。岩石崩壊というのは従来の点検項目の中に特別には取り扱っていなかったのですが，今回の事故を契機に落石・崩壊と現象が多少違いますので独立させて点検項目に加えたということです。特にその二つについて8月以降できるだけ客観的評価基準をつくろうということで道路防災対策室を中心に作業を進めてまいりました。

こういったガイドブックの精神としては，今言いましたようにできるだけ客観的な評価基準をつくろう。それから現場技術者の方が理解しやすいように解説を充実させよう。もう一つは，点検結果は今まで1枚の紙にまとめて，緊急点検箇所が7万箇所とか8万箇所あった。それがランク分けされて，要するに施設整備のための予算要求資料に主に使われてきたのですが，今後は点検結果をデータベース化して，道路の整備水準とかその他もろもろの通行規制基準とか，そういったもののベースとして使えるようにしよう，ということで点検結果のデータベース化を行った。そういったところが主な今回のガイドブックの改訂点になっています。

ガイドブック全体の構成を見ていただきたいのですが，お手元の資料5の2ページを開いていただきますと，点検項目が11項目並んでございます。こういった項目について総点検を実施する。2番の「岩石崩壊」が今回新しく取り組んだものです。

それから5ページを開いていただきたいのですが，「点検項目の選定」というところがございます。これについては次の6ページの図を見ていただきたいのですが，いろんな点検項目があって，どの点検表を使ったらいいのかという目安をわかりやすく示したものがこの図です。まず地形区分の盛土では，基本的に盛土の箇所ですから盛土の調査を実施し，盛土に擁壁がある場合は擁壁の調査を行う。

それから地形区分で右に行きまして渓流または沢があれば，基本的には，沢の大きさにもよるのですが，土石流の調査をやる。

それから，のり面・自然斜面ですが，これにはいろんな点検項目が絡んでまいります。まず落石覆工をやっている箇所は落石覆工の調査を行う。さらに落石覆工が岩石崩壊に対して十分な機能を持つかどうかをチェックする意味で岩石崩壊の調査をやる。元に戻って擁壁があれば擁壁の調査を行い，地すべり地形あるい

は地すべりの兆候が認められる場合は地すべり調査表でカバーする。残りというのが数としては圧倒的に多いわけですが，残りの自然斜面あるいはのり面のうち高さが15m以上で，それが岩ののり面斜面であれば岩石崩壊の調査をやって，岩石崩壊の恐れがない場合は落石・崩壊の調査に戻るし，高さが低いものについては，あるいは土ののり面斜面あるいは自然斜面等は落石・崩壊の調査を行うという形になっております。最初に説明させていただくのが落石・崩壊の調査です。

5ページに戻っていただきまして3－2「点検箇所の抽出」というところがございます。基本的には道路防災総点検は全数調査ができれば望ましいわけですけれども，予算的にもなかなかそこまではできませんので，危険箇所を現場技術者の判断で抽出することになります。日常点検の結果に基づいたり，あるいは何かの目安に基づいて危険箇所の抽出を行うわけですが，その目安を示したものが5ページから7ページ，8ページ，9ページ，10ページと各点検項目ごとにこういうところを特に重点的に調査してくださいという形で取り上げてございます。

落石・崩壊については，基本的には5ページの1），2），3）とありますが，現時点で変状が見られる箇所を優先的に抽出するし，あるいは過去の被災履歴に留意する。それ以外では7ページに①から④で書いていますが，不安定な浮石・転石がある場合とか，崩壊性の地質あるいは植生が一定しない，といったところを取り上げることにしています。基本的にはこういう一応の目安は示していますが，やはり現場技術者の判断にゆだねているということです。

次に14ページから3－4の「落石・崩壊に関する点検」に関する説明に移りたいと思います。落石・崩壊に関する点検要領は，具体的には18ページをお開きいただきたいのですが，「安定度調査表（落石・崩壊）」とありますが，これに集約されるものです。この安定度調査表はいろんな点検項目，チェックポイントが書いてあって，それに配点がされていて，それを全部足し合わせて総得点を出して，その点数でランク分けして危険度を判定するという精神のものですけれども，これをつくるのにいろいろと時間がかかったわけです。これの作業を進めるに当たって，落石・崩壊については，土研の地質研究室と土質研究室，国土地理院の地理第一課，その三機関で担当しました。

安定度調査表ですけれども，左側が安定度の一次評価という形になっていまして，いろんな地形要因，土質・地質・構造関係の要因，表層の状況の要因，勾配とか高さとか形状の要因，変状の要因とあって，対策工の効果については真ん中の欄で対策工の効果補正を行うようになっています。

落石・崩壊の対象になる箇所は，のり面の場合もあれば自然斜面の場合もあるし，あるいはのり面があってそれに引き続いて自然斜面があるケースがありますので，のり面と自然斜面の欄を二つ設けています。のり面についてはのり面の欄を埋めるし，自然斜面については自然斜面の欄，両方あれば両方を埋めて得点の高い方をとる形になっております。基本的にはのり面と自然斜面で崩壊の現象が違いますから，その現象に合わせたような形で配点が変わってございます。

例えば自然斜面の欄について見ていただきたいのですけれども，各要因ごとに配点がされていて，その配点の小計の欄があって，全部足し合わせると100点満点になるようになっています。小計の欄を見ていただいて得点の高い要因が非常に重要なチェックポイントだということになるわけですけれども，見ていただいてわかりますように，自然斜面で高いのは表土及び浮石・転石の状況，表面の状況ですね。それと表面の被

覆状況，植生の有無，それと勾配とか，高かの点数が大きくなっています。もちろん現時点の変状も点数が高いのですが。

したがって，ここから言えることは，自然斜面については基本的には浮石・転石がころげ落ちてくるか表土がすべり落ちてきやすい，場合としては勾配がきつくて，高さが高くて，植生がまばらなところが危い。こういうふうに点数化していますが，専門家が見るときには今言ったような浮石・転石があって，そういうのが転げ落ちてきやすいところが危ないと判断するわけですが，こういうふうに点数化してしまうと，一個一個の木を見て，全体の現象の本質がわかりにくくなるのですけれども，説明会等をやってこの点数から読み取れる裏にある現象の本質を忘れないようにしてほしい。点数化するとややもすると森が忘れられてしまうので，特にそういう点に注意してほしいと言っているわけです。ただ点数化しますと，だれがやっても同じような判断ができるようになるということで，弊害もあるけれどもメリットも大きいんだと思います。

一方，のり面の配点を見ていただきたいのですが，これで自然斜面と違うのは，土質・地質・構造のところが自然斜面に比べて配点が大きくなっています。というのは，のり面の場合は切り取りますから，岩なり土なりの弱さ，強さが非常に崩壊にきいてくるということでこういう配点になっています。

こういう配点を決めた根拠ですけれども，まず要因の拾い出しを行いました。のり面・自然斜面は崩壊形態が多様だし，地質・土質も非常に多様なので，要因を絞り込んで，絞り込んでここまで持ってきたのですが，これでもまだ非常に多くの要因を考慮しないといけません。いろんな各機関がのり面判定表を出していますが，例えば道路公団とかＪＲがのり面判定表を出していまして，そこで取り上げられている要因のうちのウェートの大きなものを拾い出すことで要因の絞り込みを行いました。

それから，要因ごとの配点はどうやってつけたか。なかなか難しいんですね。最初は，えいやっとつけようかということで作業していたのですけれども，やはり本省の方では根拠がないとまずいということです。配点をするための根拠というと崩壊した事例，崩壊しない事例を非常に数を集めてやらないといけないですけれども，これだけの情報が集まった崩壊事例のデータベースはないのが現状で，ちょっと困ったのですが，幸い国土地理院の方に災害対策基礎調査という，こういった情報を網羅した調査が全国の各路線でなされています。その中から10路線選んで，全部で450ぐらいのサンプルを持ってきました。国土地理院ではＡＢＣのランク分けをやっていまして，それは専門家の目で判断したＡＢＣランク分けですが，それと合致するように，ＡＢＣの各ランクに得点を40点，60点，80点と与えまして，個々の要因の配点をいろいろ変えて重回帰分析をやりまして，ＡＢＣランク分けが明確に出るような配点をつくりました。

それをもとに得点を決めたのですが，どうもその結果だけ見るとちょっと常識とはずれているところがあったり，現場に行っていろんな現象を見てみると，ちょっと直した方がいいというのがどうしても出てくるので，それは我々の判断で得点に修正を加えています。基本的に自然斜面の方は地理院の災害対策基礎調査で数量化解析をやったものがベースでほとんど変わっていませんが，のり面の方はそれと多少変わってきています。

この結果をもとに栃木県で試行をやってのり面を10から20ぐらいみんなで歩いて，つけ方あるいはこういう流れで問題ないかどうかのチェックをやったということです。

次に対策工の効果補正ということで，対策工の効果によって一次評価の得点にゼロを掛けたり，マイナス

の点をつけるわけです。

一方，本省の強い要望でこういった要因だけの評価はやはり問題がある。新しいだけにまだ不安があるので，右に書いていますように履歴からの評価もあわせてやっておきたい。そこで，直近の対策実施以降の履歴を調べて，その大きさによって独立した点を出して，要因からの評価の点との大小を見て，大き方をとる。試行を栃木県でやった結果，要因からの評価の点と履歴からの評価の点が割りと一致しましたので，そういった意味では結果的には両方でダブルチェックをやっているという形かと思います。

あと区間重要度の補正をやって最終評価を出すわけですが，ここでランクⅠ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳとあって，これがどういうことを示すのかとよく聞かれるのですが，ランクⅣは基本的に対策の必要のないものということで共通してつくっております。ランクⅠ，Ⅱ，Ⅲですが，あくまでのり面の安定度の評価を示すもので，対策の重要度とはまた別ということです。要するに対応は別途の検討が必要で，このランク区分は，点検後の対応の目安になる安定度の大小を示すものだということです。路線の重要度とか予算の規模とかで緊急度を決めていただいたり，あるいは詳細調査の必要性を判断していただいたり，そういうものはこれから後の作業になっています。

点検項目としては今日御紹介する五つ以外に全部で11ありまして，防災点検ガイドブックを資料５としてお配りしているのは今日御説明するところの抜粋のみですが，実際のガイドブック案はこういう形でちょっとした本の形になっていまして，118ページぐらいの本で，今言った個々の項目ごとの安定度調査表とその解説が図入りで現場技術者の方にできるだけわかりやすいような形で整えられているものです。点検に当たられる方以外でものり面関係の安定度をみるには，どういう点にチェックポイントを置いたらいいのかというときには参考になるので，活用していただければと思います。

以上，アウトラインのみで申しわけないのですけれども，私の御説明を終わらせていただきます。

質　疑　応　答

○佐々木（土木研究所地震防災部長）　落石対策便覧というのが土木協会から何年前か忘れましたが，出ましたですね。このガイドブックの前書きとか，今の御説明のどこにも落石対策便覧との関連とか取り扱いの御説明がなかったのですけれども，どういうことになるんでしょうか。

○三木　基本的には落石・崩壊については，道路土工指針ののり面工・斜面安定工指針と落石対策便覧を主な参考資料として使っております。落石対策便覧の中に落石の発生予測に関する項があるわけですが，落石対策便覧の時点ではこういった点数制評価が行える形にはなってなくて，考慮すべき項目のみが挙げられてございます。これらのうちの重要な要因はこの中にすべて取り込んでいるということで御理解いただきたいと思います。

○佐々木（土木研究所地震防災部長）　わかりました。27ページあたりに参考文献として道路土工――のり面工・斜面安定工指針が挙がっているけれども，落石対策便覧は挙がっておりません。確かに落石対策便覧をつくりましたときに，ここまで細かな資料が整えられなかったのが，ここまで立派な形になって，現場で災害を防ぐのに役に立つのは大変結構なことだと思うんですが，むしろこういう部分が落石対策便覧で十分事前の調査でできなかったから，そこのところを充実したという話がよく伝わるように，説明会とかどこかで触れるとかしておかれた方が，今回のガイドブックと既に世の中に出ているものとの関連がどうなのかなというのが気になる人の参考になると思いましたので，発言させていただきました。

もう一つ「既設対策工の効果」という27ページの７番の項目の中で施設があるかないかということで１）２）３）①②と書いてあるのですが，私も離れてだいぶたつのですが，一つだけ気になっていますのは，防護工とかネット，ストンガード，アンカーの状況が実際モノはあるけれども，アンカーレッジが，周りの岩が風化しているとか，せっかくのアンカーが抜けて，当初のものはあるけれども機能が発揮できない可能性がある，こういう点を防災点検の中に含まれるのがよかったんじゃないかと思います。今後機会があればそういう項目についても入れておかないと，アンカーが十分でなくて被害があったときのいろいろな管理者としての立場とか責任とか，非常に大事なことになるんじゃないかと思いますので，御検討いただきたいと思います。

○三木　どうもありがとうございます。既設対策工の効果については御指摘のような，施設があっても，その健全度とか，そういったものに十分留意してないと問題があることがあったり，あるいは構造物の種類が非常に多岐に及んでいるのでこういうふうに簡単には分け切らない部分で，まだ中途半端な記述になっております。ただし，アンカー工の健全度については十分留意されたいという本省からの要望もあって，一部ちょっと入っているのですけれども，この部分についてはまだまだ今後充実させていきたいと考えております。どうも御指摘ありがとうございました。

○平野（中国地建）　このマニュアルを見ますと調査項目あるいは着眼点というのはよくわかるのですが，そういった項目から着眼点を知るにはどうすればいいか。要するに調査方法としてはどんな手があるだろうかと思うわけでございます。多分現地踏査を主体に考えておられると思うんですが，実際落石あるいは崩壊

が起こるところは非常に地形が厳しい。結局は道路から眺めて，実際中に入らないで判断してしまうような技術者もいるんじゃないか，ということで結局のところは肝心な例えば30m，40m上から落ちてくるような話はわからなくなってしまうような恐れもあるような気がいたします。

もちろんこれは予備調査ですから一次ふるい分けを行い，その中で確実にここが要注意箇所というのがわかれば，後は詳細調査をやれば済むかと思うんですけれども，そういった踏査以外に簡単にできるような，例えば空中写真とか大縮尺の斜め写真，あるいは何か別途いい方法が併用できないのかなと。もちろんそれが前提にあった話かもしれませんけれども，そこらの話をお聞かせ願いたいのが一つでございます。

もう一つは，3，4年ごとに防災点検がずっと行われているわけでございまして，要するに同じ道路，同じのり面，斜面について何回も何回もやっているわけでございますが，一応古いデータはあるとは思うんですが，果たして現場で古いデータが本当に生かされておるんだろうか。前は前で点検をやって，結論を出して，そのまま置いといて，4，5年たってまた同じようにやるんですが，前のデータがひょっとしたら生かされておらないんじゃないか。今回新しいマニュアルができて，やられるわけでございますけれども，データベースみたいなやつをきちんとつくって残すようなことも考える必要があるんじゃなかろうか。

特に毎回点検する業者あるいは技術者が同じ人だったら，ここはこういうのが気がかりだ，あるいはここがポイントだというのが頭にあって引き継がれていくんでしょうけど，事務所の方も体制がかわりますし，業者も必ずしも同じ人がやるわけじゃございませんので，そこらへんがうまく引き継がれるようにやっていかれたらやっていくべきじゃなかろうか，ということでデータベース化あたりを考えておられるのかどうかお聞きしたい。この2点でございます。

○三木　第1点の調査方法ですが，全国説明会を本省で1回，100人ぐらいを地建とか公団とか，県の主な方に来ていただいて行い，その後全国各ブロック，沖縄を含めて10のブロックでやはりそれぞれ100人ぐらい来ていただいて，実際に点検に当たられる方に説明会を開いています。その中で調査方法に関する御質問がかなり多くて，非常に急な斜面が延々続くようなところを常に調査するのかということを聞かれますが，これらについては落石の恐れのある範囲はすべて道路用地外でも調査するというのが基本方針です。

どういう方法で調査するのかということですけれども，現場で航空写真とか斜め空中写真が使えるところもあれば使えないところもあるわけですが，得てして落石の起こりやすいところは木がまばらである程度高いところから浮石が見えるようなケースもあるので，あるいは岩石崩壊もそうですけれども，そういうところは山をよじのぼって行くのも基本的にやらないといけないのですけれども，空中写真を活用する。今後そういうのを整備していって，路線の維持管理に活用していくという方向をこれから模索していかないといけないんじゃないかと思います。

データベースについては，全部フロッピーで回収して本省でデータを処理するという形をとっています。道路管理のデータベースが本省サイドで整えられていて，のり面を問わずトンネルとかガードレール，すべての情報を集めたデータバンクですけれども，それが上位にあて，今回のような防災点検で得られた情報はのり面に関するサブ情報としてそういう本体に吸い上げていく。位置付けとしてはこちらがサブシステムで，もう一つ上に道路全体の情報データベースがあって，それは本省を中心にデータベース化の動きがありまして，今回もこういう形でデータベース化を進めていくことになりました。

蛇足ですけれども，土研の地質研究室，斜面グループを中心にのり面台帳をつくって，のり面台帳が本体のデータベースの方には情報としてこういうものをとりなさいというのがあるわけです。そののり面台帳を網羅する項目は非常に多くて，今回のものより3倍ぐらいあるのです。今回のものをそちらの方に入れていくわけですけれども，そういうスタイルでデータベース化を図っていきたい。

もう一つは，点検した箇所だけじゃなくて，今後災害が起こった箇所にもこういう項目についてチェックして，起こった，起こらないでこういった配点，重み付けがいいのかどうか，調査方法の見直しに活用していく，ということで災害情報についてもデータベース化を図っていく予定です。

○平野　どうもありがとうございました。

○司会　ほかにどなたかございますでしょうか。

○佐々木（土木研究所地震防災部長）　今の平野さんの御発言に関して一つ非常に大事なことを私は感ずるんです。過去の災害の履歴とか点検の結果が現場の管理に生かされているかどうか。データベース化しろ。これからの管理に生かせという点が非常に大事なことの一つでして，それから，非常に複雑な自然災害を防ぐために研究を進めるという立場からのデータベース化も必要ですけれども，現場で管理していく第1線の事務所とか出張所とか，そういう立場が自分のところを管理する上で過去のデータをどう生かすかという話は，全国的に本省のデータベースだけに依存するんじゃなくて，それぞれに管理している区間の特性とか気象条件とか，いろいろ複雑なものがあると思うので，その努力をむしろ現場の方から進めて，その中から全国的な研究でいくとこういう結果も出てきたという提案があるような方向でお考えいただき，またそういう努力をむしろ現場の第1線でやっていただくことがこういう複雑な現象に基づく災害を防ぐ非常に重要なことじゃないかと思いますので，ちょっと一言お願いしておきたいと思うんです。

○司会　どうもありがとうございました。まだ御質問があるかと思いますが，時間が超過しておりますので，後で総合討論のときに時間があれば承りたいと思います。どうもありがとうございました。

b）岩石崩壊

急傾斜地崩壊研究室の西川でございます。先ほど来の話にありましたように，岩石崩壊という項目は過去の防災点検にはなかったのを，特に昨年夏の越前海岸の岩石崩壊の事故にかんがみまして新たに点検項目として独立させたということで，今回の内容は，実は昨年来建設省に岩石崩壊に関する特別の委員会がつくられまして，その委員会の中で岩石崩壊の危険度を評価するにはどういう項目に着目して，それぞれの項目はどういう重みで考えたらいいのかという議論がありまして，その中で骨格がつくられたものです。ここに書いてありますように，どういうふうにつくられたかというのは，専門家がそれぞれ要因を提案して，いわばブレーンストーミングのような格好で評価のモデルをつくって，それの重み付けについて討論して出来上がった，ということでその部分は若干ブラックボックスみたいになっているのですが，出来上がりましたものは表－3.5.1というところにございます。

当初は岩石崩壊をかなり規模の大きな現象，例えば数百立米とか数千立米ぐらいの岩石が，トップリングとか岩盤すべりという格好で大規模に崩壊してくる現象ということでとらえていたのですが，防災点検全体のほかの項目との仕分け上，冒頭に書いてありますように，対象としては岩盤の露頭した高さ15m以上ののり面・斜面を考えて，そこで直径1m以上の落石，あるいは，落ちてくる崩壊土量が5立米程度以上というある程度小規模といいますか，それでも結構大きいわけですが，そういうものからいわゆる越前海岸で起きたような規模のものも含めて対象としています。

考え方としては，ここに挙げました要因，地形とか地質そのもの，地質構造あるいは現在現象としてはどうであるか，そういう要因からの評価で点数をつける。対策工が行われている場合もございますので，対策工の効果と，ほかでもありますように区間の重要度を入れて，最終的に点数で評価する。それをランク分けする。

先ほど落石・崩壊で過去の履歴を重要視するという考えが出されていたのですが，大規模も含めた岩石崩壊の発生事例は実際はかなり少ないことと，一旦崩壊が発生した箇所が必ずしも引き続き危険な箇所であるといえない場合もある，ということでなかなか履歴即発生の危険性に直接評価しにくい部分もあるので，岩石崩壊のところでは要因からの評価と履歴からの評価を並列に扱うというふうにはしておりません。

要因それぞれについてですが，ここで一番重視しておりますのが亀裂の状態で，ここがこの調査表のほかのやり方と異なっているところですが，基本的には岩石崩壊の前兆現象として重要なものは引っ張り亀裂が発生しているかどうかだ，ということでその亀裂が引っ張り亀裂なのか，単にもともとの亀裂なのか，見ただけではよくわからない部分がありますので，特に著しく開口した亀裂があれば非常に危険であるという立場で，開口亀裂があるかないか。大きな開口亀裂があったらそれだけでこの崖については岩石崩壊の危険性が大なのでということで，ここで言うと100点を与えて，それだけでランクとしては上位ランクになるという考え方になっております。

多少細かく言うと矛盾が出てきちゃうという点もあるのですが，小崩壊とか落石は大崩壊の前兆とも考え得るということで，そういう小崩壊がある場合は点数を与えよう。

地質及び地質構造では，亀裂の入り方とかそういうことに関して硬岩と軟岩に分けて，亀裂の入り方が規則的で間隔が1m以上とそれ以下と分けているのは，要するに亀裂の間隔が大きいということは，一旦発生

すると大規模のものが発生する可能性がある。亀裂が間隔が小さいあるいは不規則であるというのは規模的には相対的に小さいものである，そういう考えに基づいているかと思うんです。

それから，岩相の組み合わせという点では，いろんな地質の状況があるわけですが，上の方が硬い岩石が出てきて，下の方が柔らかい岩石が出てくる。オーバーハングをつくりやすい状況はこういうものがある。こういうところでは素因として危険性があるということで高い点数を与えよう。上が硬くて下が柔らかいものは点数が高くて，上が脆くて下が硬いものはそれよりはちょっといい。それから全体が脆いもの。全体が硬いものについてはそれはそれでよし，そういう順番に点数を与えるような考え方になっています。

亀裂の入り方が斜面に対して特に顕著な亀裂，不連続面という表現ですが，それが斜面に対してどういう入り方をしているかということで区分けをして，それに応じた点数を与えるという考え方で，崖面と不連続面の傾斜関係，これはほかのところでも出てくる区分ですが，縦軸側に崖面の傾斜をとって，こっちに不連続面，不連続面といいますのはそれが場合によっては断層面だったり，節理面であったり，言ってみればそこから壊れてくる可能性のある面という意味合いですけれども。

そうしますと，崖も急だし不連続面も急である。しかも流れ盤になっている。ここでは全部流れ盤になるわけですが，両方とも45度以上にある。それが一番要因としては危険があるということで高い点数を与える。あとは順次，崖面は45度以上，不連続面は45度よりちょっと小さいという順番ですね。崖面は45度以下，不連続面も45度以下のグループと，こっち側に来るのは不連続面が崖面より角度がきついので逆に崖の中に刺したような格好になって，同じ流れ盤であるけれど危険度が低い。あと，流れ盤じゃなくて完全に受け盤になっている構造，それはこれと一緒，ということでそれぞれに危険度に応じた評価を与える。そういう点数の与え方をしているわけです。

地形の方ではオーバーハングのあるところ，あるいは角度のきつい崖は多少危険だとか，高さについて区別しているのは，高いところで発生すると結局ある程度の被害を考えての話ですが，多少段階的に点数の区別をつけています。

斜面の型といいますか，どういう形状をしているか。斜面の型をこのように分類しまして，これもある程度よく使われる分類ですが，全体として尾根形状をしているか、谷形状をしているか。どちらでもなくて直線的な斜面である。それがさらにストレートな斜面なのか，ちょっとふくらんだ斜面なのか，へこんだ斜面なのか，そういう区分けをして，それぞれに形状によって多少危険度の差をつける。あとは遷急線の明瞭さ，不明瞭さで点数の差をつける。

地下水とか降雨は，湧水があるとか，そういうところで冬になると凍って凍結による風化を起こしやすいとか，そういう要因にも注目する。これらの要因でもって判定しよう。

これは当初，先ほど申しました委員会でつくられた要因は実はもうちょっと数多く見ているのですが，防災点検はできるだけわかりやすくする，ということで少し項目を絞った形にしています。大体トータル100点になるように構成し直しているのです。

あとは，ほかの項目の考え方と同じように，対策工の補正をやって，区間重要度の補正をやって，最終的にこういうランク分けをする。

その際，最初は大規模なものを想定していたのですが，それでもちょっと幅が広いものになりましたので，

一応これは斜面調査をしますと，結局亀裂に注目して，亀裂である程度崩壊規模を予想する，ということで実際はかなり難しい部分があるのですが，その区別もしていただいて記録に残しましょう，ということで想定される崩壊規模を予測するということでそれを記入することにいたしました。

以上，簡単でございますが，岩石崩壊のどういう要因を挙げているかということと，それの考え方について御説明申し上げました。

質　疑　応　答

○小林　私が各事務所に行きまして，調査員になったつもりで調査表に基づいて点数をつけに山に行ったとしますね。石がばらばら落ちてきたり，あるいは危ないと言われている斜面を見に行きまして，この斜面は岩石崩壊の斜面なのか，斜面崩壊のところの記入表に書くのか，あるいは地すべりなのか，この判断をするのは何によって区分けしたらよろしいでしょうか。何か基本的な分け方がどこかに示されているでしょうか。それを教えていただきたいと思います。

○西川　資料の6ページに，先ほど三木さんから御説明がありました，どの調査表を使うかというフローチャートがございます。一番悩むところといいますか，例えばここは岩石崩壊を起こす可能性があるところなのか，それよりも規模の小さい落石なのか，あるいは表層崩壊の箇所なのか，そういうところではできるだけ機械的に割り切ろうということで，このフローチャートでは高さ15m以上の岩盤があらわれてくるのり面斜面だったら，とりあえず岩石崩壊の調査表を使って判定をやってみよう。なおかつ必ずそれに併用して落石崩壊の調査表も使う。ですから，岩石崩壊の調査をした箇所は必ず落石崩壊の調査表でも調査をしてみる，そういうやり方になっています。ですから高さ15m以下ののり面斜面だったら落石崩壊の調査表だけで進行する。

もう一つ，地すべりか否かというのは，その前にこれもある程度技術的判断が入るんでしょうけれども，地すべり地形がありやなしやで地すべり調査表を使うかどうかという考えになっています。

今の答えでよろしいでしょうか。

○小林　大体わかりました。岩とかに余りこだわらないで，大きさなんですね。岩石とか規模ですね。

○西川　本来崩壊は岩石崩壊を使うか，単なる落石かは規模で分けているのですけれども，ただ，それが先ほど言っていましたようにできるだけ割り切りができるように，ということでとりあえず高さで，岩が出ているかどうか，そこを目安にしているということです。

c）地すべり

地すべり研究室の近藤でございます。よろしくお願いします。地すべりに関してガイドブックの42ページから始まっております。

まず地すべりというのは，山地や丘陵地を構成する斜面の一部に降雨や融雪による水が浸透して地下水が急激に上昇する。それによって発生しました間隙水圧によって斜面の平衡が崩れ，土塊があるすべり面を形成する，あるいはすべり面が既に形成されていましたら，その部分から土塊が下方に移動する。そういった現象であります。

主原因でありますすべり面を直接目で見ることができない点もありまして，点検項目は割りとマクロ的な点に注目して評価されております。この点検項目につきましては地すべり研究室内で討議いたしまして作成し，そのあと作成した点検項目に対して千葉県の現場でチェック，若干の修正を加え現在の形になっております。

それではＯＨＰで説明させていただきます。（以下ＯＨＰ）

これはガイドブックの６ページに載っております安定度調査表の選定の考えのフローであります。この中で地すべりというのはここにございますように，地すべり地形を有する，あるいは地すべり徴候が認められる場合に地すべり調査表を適用する，ということでございます。

さらに詳しく述べますと，現時点で地すべりの徴候がある箇所，地すべり履歴がある箇所，地すべり防止区域になっている，あるいは危険区域になっている箇所，地すべり地形があり，その周辺に地すべり災害の履歴がある，こういった箇所に注目して点検箇所を抽出するというものです。最後の５番に「地すべりブロック及びその範囲外に位置する場合は適用除外とする」という項目がございます。この５番についてさらに詳しく説明します。

地すべり土塊が移動しますと，それが下方に移動してある影響範囲に堆積します。その影響範囲はここに示してありますけれども，地すべりの幅と長さの約２倍の範囲に影響を及ぼす可能性があるということで，この範囲に道路がある，あるいはブロック内に道路がある場合に抽出対象斜面にするということでございます。

この２倍について見ますと，上に書いてありますのが発生部分の幅と，堆積部分の幅の比をとっております。これは土塊が拡散した地すべり，82件について見たものですけれども，３件が２倍以上拡散しています。あとの95％ぐらいは２倍以内に入っています。さらに長さにつきましても２倍以上が４件でほとんどが２倍以内に入っている，ということで拡散幅と拡散長さを２倍に決めております。

それでは点検の大まかな流れについてですけれども，まず，一次評価をします。これには要因からの評価と履歴からの評価があり，次に二次評価をします。さらに二次評価に区間重要度補正を加えて最終評価をするというものでございます。

それでは一次評価はどういった内容になっているかということですが，要因と履歴からの評価があります。要因の中には地すべり地形と地質，履歴からの評価については地すべり履歴と地すべり徴候がございます。地すべり地形については，地すべり地形の明瞭・不明瞭を判断してその危険度を評価しようというものでございます。地質については，日本の中でもいわゆる新潟県を中心にしたグリーンタフとか，あるいは中央構造

線沿いの変成岩地帯に地すべりが多く分布しており，分布が地質に制約されている点がありますので，地質によって危険度を評価するというものでございます。

地すべりというのは反復性，周期性がございますので，過去の地すべり履歴を調べ将来の危険度を評価しよう，ということで地すべり履歴が入っています。地すべり徴候というのは，今まさに地すべりが活動し，その徴候を表面にあらわすわけですが，その徴候の状態を見て危険度を判定しようというものでございます。

これは全体の調査表の流れであります。こちらが要因からの一次評価，ここに対策工の補正が入ります。ここが履歴からの一次評価，この２つのうち大きな方をとって二次評価をし，それに区間重要度補正が加わって最終評価に至るというものであります。

一次評価の要因の方について詳しく見ていきますと，まず地すべり地形と地質がありまして，地すべり地形は，「明瞭」・「やや明瞭」・「不明瞭」に分けまして，それぞれ40点，20点，７点という配点をしております。地すべり地形は，過去に地すべりが発生して，その後の風化・侵食によって地形が開析されて地すべり地形となるわけです。

その特徴としては，上部の等高線が詰まっていて，下の方の等高線も同様に詰まっていて，真ん中で開いているのが特徴的で，頭部は馬蹄形あるいは四角形をしている。頭部のところに陥没地や湖沼あるいは湿地帯がある場合もあり，こういったところに過去に大規模に滑落したときの分離小丘が残っていることもあります。これらのことが地すべり地形の特徴点になります。

こういった地すべり地形を明瞭か，不明瞭か，あるいはやや明瞭かを判断して加点をするわけですけれども，その場合の判断基準については地すべりブロック全体がはっきりわかるといったものは明瞭であるとしています。地すべりは頭部が活動域になって下の方が抵抗域になりますので，頭部の方に先に変状があらわれます。地すべり地形にも同じことが言えますので，頭部ははっきりしているけれども側部とか下の方がはっきりしてないものをやや明瞭としています。不明瞭というのは，頭部には乱れがあるが，全体のブロックはよくわからないといったものを不明瞭としております。

続きまして地質につきましては，地質構造と年代及び岩質，それから湧水の項目があります。これについて詳しく説明します。まず断層と破砕帯ですが，これは地すべり面と断層の関係の典型的な例を示したものです。こういったところに断層がありますと，断層部分がすべり面上部の一部を形成して椅子型のすべりをするとか，あるいはこういう断層が水みちを支配して，地下水を供給して地すべりを発生させるといったことが起こります。そういうことで18点という比較的高い加点をしております。

続きまして火山変質帯，温泉余土というのがございますが，これは火山地域で地下の深いところで高温の温泉水が岩石を変質させ，それが温泉余土に変わります。そういった地域では非常に地すべりが発生しやすいということで18点の加点をしています。

続きまして流れ盤ですけれども，いわゆる層理面とか片理面沿いにすべり面を形成して，岩盤すべりとか流動型の地すべりが起こりやすい，ということで14点の加点をしております。受け盤についても崩壊性の小中規模の地すべりが発生するということで７点の加点をしております。

次に塊状というものがございまして，いわゆる貫入岩とキャップ・ロックを有している地すべりですが，先ず貫入岩についてですが，安山岩とか石英粗面岩などが貫入して，その周りを破砕あるいは変質させ，そ

の場所に地すべりが発生しやすい状況をつくる，ということで3点の加点をしております。こちらがキャップ・ロック構造で，玄武岩とか硬質砂岩が上に乗っていて，そういった部分が一種の透水域や貯流域になって，その周りで地すべりが発生しやすい状況をつくりますので，これも3点の加点をしております。

以上が地質で，続きまして年代ですけれども，四つに分けておりまして，中・古生層，第三紀層，第四紀層，それぞれ7点，7点，3点という配点をしております。その他として火山岩，火成岩は零点になっています。

続きまして湧水ですが，これも冒頭に申し上げましたけれども，地すべりには地下水が非常に関係しており，地下水は間隙水圧となってすべり面を押し上げ地すべりを発生させる。このようなことから地すべり地では往々にして湧水が多いということで，湧水の多い箇所については危険性が高いので，湧水の確認をし，ある場合は10点の加点となっております。

以上で要因からの判定を終わりまして，75点を限度として合計します。それに対策工の補正をします。対策工の補正については，「対策工がない・効果が低い」，「一定の効果」，「高い」の3つに分けております。ない場合が零点，一定の効果がマイナス20点となっています。高い場合は，高ければ対策工の必要はないわけですので，この時点で最終判定をランクⅣにします。

具体的に対策工のどういったものが高くてどういったものが低いかということですが，地下水排除工について高い場合とは，所定の安全率を確保するまで地下水位が低下している場合であります。また，抑止工，排土工，押さえ盛土工についても所定の安全率を確保するのに必要な工事が完了しているもの，ということで判断します。

一定の効果については，そういった対策工がなされているけれども，まだ十分な効果が上がっていないものでございます。

対策工がないあるいは効果が低いものについては，対策工が施工されていない場合，また効果が低いものについては，現場によっては末端部分の押し出しによる局部崩壊対策のためのブロック積みとか擁壁工が施工されていますけれども，そういったものについては評価しない，ということでございます。

以上で要因からの判定を終わりまして，次は履歴からの判定ですけれども，二つの項目がございます。地すべり履歴と地すべり徴候です。地すべり履歴については，先ほど申しましたように地すべりが周期性，反復性があるものですから，過去の地すべり災害を調査して将来の危険度を判定しようというものでございます。過去に地すべり履歴がある場合には100点，非常に危険であるということになります。ただし，過去に地すべり履歴がありましても，その後に対策が実施され，何の地すべり災害や地すべり兆候も発生していない場合には零点を選択します。

地すべり徴候については「顕著な徴候」「軽微な徴候」「徴候なし」に分けて考えます。徴候にはどういったものがあるかといいますと，斜面の亀裂として主亀裂，側面亀裂，圧縮亀裂があります。その他隆起，陥没，安定斜面工の異常・変状，小崩壊がございます。

地すべりが発生しますといった状態になりますけれども，これをぐるっと戻しますとこんな形になります。これは初生的な地すべりを描いているわけですが，これだけ変状があれば相当進んでいることになりますけれども，主亀裂というのは頭部の引張亀裂としてこういったところに発生している。側面亀裂は，移動方向

が斜めの場合はオープンクラックになり，このようなところは陥没地になることもございます。

圧縮部分では斜面に平行あるいは30度から20度ぐらい開いた亀裂が発生するとか，末端部で小崩壊があるとか，あるいは隆起があるといったような徴候を示します。現場でこのような徴候を探し危険度の評価をするわけです。

その徴候はどういったものが顕著で，どういったものが軽微なのかということですけれども，ここにいろいろお示ししてありますけれども，途中でも申しましたが，頭部が活動域になって下の方が抵抗域になる，ということで頭部にまず徴候があらわれやすいということがございます。頭部に関して言いますと顕著な徴候は，段差とか多少の開口亀裂が発生するといったものが顕著である。それに対して開口を伴わない亀裂があるといったものは軽微である。末端部分については，末端で変状があらわれる状態になるということは地すべりがある程度進行していると考えられますので，末端に出た場合は顕著であるとしています。

構造物にみられる兆候については，壁体にクラックが発生し，食い違いが生じるというかなり大きなダメージのものについては顕著である。軽微なものについては，斜面工にうねりが認められるとか，目地にずれがあるとか，小さなダメージのものについては軽微であるとしております。ここで一つ注意したいのは，点数が顕著が100点で軽微が75点と余り変わっていないのですが，というのは，地すべりの場合ですと表面に徴候があらわれること自体がかなり進んでいると考えられますので，軽微なものについてもかなり大きな点数になっております。

これで地すべり徴候を終わります。最後に要因と履歴からの評価の合計のうち大きい方について区間重要度補正をして最終評価します。

最終評価のところを見ますとランクⅢのところが60点未満となっておりますが，ここに零点が入ったとしてもランクⅢになります。零点というのはどういう場合かと言いますと，例えば，地すべり地形がやや明瞭の20点が加点され，あとの要因による加点はないとして，対策工の効果補正で「一定の効果」がある場合，マイナス20点となって要因からの判定は零点になります。履歴からの評価がなく区間重要度→補正がゼロであれば最終評価に零点が入ります。つまり，地すべり地形を示していれば一定の効果の対策工がなされていても，それについては何らかの対策工が必要だという意味から60点未満についてはランクⅢとしております。ランクⅣになる場合は，対策工の効果が高い場合だけになっております。

質　疑　応　答

○平野　二，三教えていただきたいのですが，表－3.6.1の配点表がございますが，年代及び岩質の中で，「その他（火山岩，火成岩等）」とありますけれども，これに配点がゼロですけれども，火山岩あたりでは地すべりは生じない，あるいは非常に生じにくいと考えてよろしいわけでしょうか。

○近藤　先ほどの表にもありましたように，起きにくいと判断しています。

○平野　大規模な地すべりは非常に火山岩地帯に多いような気がするのですが，そうでもないんでしょうかね。どうでしょうか。例えばこの間の御岳山の話だとか，あるいは鳥海山とか，ああいった火山地帯では大きな地すべりが随分あるような気がするのですが，そうでもないでしょうか。

○近藤　御岳山の場合ですと，いわゆる火山灰が積もったものが主流になっていると思いますし，そういったものについては考慮する必要があると思いますけれども，いわゆる火成岩とか火山岩については地すべりは起きにくいだろうと考えています。

○平野　火成岩と書いてありますが，正確に言えば深成岩，半深成岩と書くべきなんでしょうけれども，確かに半深成岩とか深成岩には地すべりは変質とか，あるいは断層とかがない限り，少ないのでしょうが，火山岩というのが恐らく第四紀の火山とかそういったものでしょうから必らずしも地すべりは少なくないと思います。

もう一つは，地すべりの分類ということではっきりは書いてありませんけれども，地すべり研究室というか，土研では渡先生がおられて非常によくまとめられたと私は個人的には思っているのですけれども，かつては沖積年代で分けてみたり，岩質で分けてみたり，あるいは地層名で分けたり，あるいは地質構造，いろんな名前も思い付きでつけたような，例えば第三紀地すべりとか何とかありましたね。ところが渡さんは，山をつくる岩石や土の生成に基づいたような分類をされておった。例えば岩盤でできておる，あるいは風化岩でできておる，あるいは軟岩でできており，土砂でできておるというような発想で，必ずしも年代とかそういったものにこだわらずに，あるがままの状態で山を判断して，そこにどういう地すべりができるかという発想でやっておられて，我々素人にとって非常にわかりやすかった。沖積年代を知らなくても，岩種がわからなくても大体わかったということですけれども。

要するに硬い山でできてるか，柔らかい山でできてるかという話だと思うんですが，そういう発想で見ますと，先ほどの点検表がありますけれども，風化の状態とかそういうものはよく見ると余り入っておらない。その地域が非常に風化しておるか，しておらないかぐらいは，例えば酸化しておる，しておらないとか，ここの地域は中・古生層があるけれども，それは風化が進んでおる，おらないという判断はできると思うんですけれども，風化の要素が入っておらない。風化というか，岩の硬さといいますか，そこらへんの判断は普通の地質屋さんだったら多分できるとは思うんですけれども，それが入っておらないということも若干気になります。そこらへんの話をお聞かせ願いたいと思います。

○近藤　確かに，破砕帯とか三紀とかいう分類ではなくて，渡さんがやっていますような分類がございます。そういった分類でやる方法もあるとは思いますが，地質ですぐわかるといった点からいきますとこういった

方法もあるんじゃないか，ということでやっておりますけれども。

○平野　分類にこだわるのではなくて，分類の要素として石の硬さ，山の硬さ，柔らかさ，それが非常に重要じゃないか。それが重要だと渡さんは認めたからそういった分類にしたのであって，私も渡さんの分類にこだわれというんじゃなくて，その要素の中に石の硬さ，山をつくる石ですね。それが非常に大事だという発想があるけれど，そういう要素が入っておらないという話。

もう一つは斜面安定解析でございますけれども，それには土研の伝統的な分類法があって，それを頭に置いて多分書いてあると思うんですけれど，ここにはそれが，もちろんよりいいものをつくったという話ならそれはそれでいいんでしょうけれど，そこらへんが整合性が果たしてとれておるかなという話でございます。

○司会　そのほか御質問なり御意見なり，おありの方。

○関谷（建設大学校）　先ほど来から御説明いただいた中で，特に今回の地すべりについてこういう技術が利用できないのかなという非常に初歩的な質問でございますが，数年前から関東地建の技術事務所でやっておりましたリモートセンシングによる地質の調査が，この地すべり地形は水が介在するということでございますので，水を含んだ場合にリモートセンシングで上空から撮った場合に，ここですべりが起きるんじゃないかということがうまく判断できないのかなと思っているんです。その辺の御研究は何かございますでしょうか。

○近藤　リモートセンシングにつきましては，以前やられていたというふうに話は聞いておりますけれども，ちょっと私はタッチしておりませんので，具体的内容は知りませんが，なかなか難しいという話は聞いております。

d）土石流

それでは土石流に関しまして調査要領を説明したいと思います。

土石流による道路災害はかなり多く起こっておるのですけれども，一般的に余り大きな事故にならないのと，前に飛騨川とかで起ったのですが，そういう大きな事故は数が少ないのと，土石流自体がそれほど落石に比べると頻繁に起こってない，災害後の復旧が路面から土砂を排除するだけで一応終わってしまうという状況もあって，なかなか認識が薄い面もあります。

今回調査表をつくりましたけれども，土石流という現象の特徴につきまして簡単に述べさせていただきましてから調査表の説明を行いたいと思っております。（以下スランド）

これは上高地の焼岳で起こっております土石流の連続写真です。これは先頭部ですけれども，床固工を通過している土石流です。床固工の水通しは大体３ｍほどの高さがあります。ここで注意していただきたいのは，土石流の先端部はここに来ているのですけれども，土石流が来る前の状態は流水が非常に少ない。このような流域面積が小さい渓流では雨が降っても，水だけですと，普通のタイプのカルバートでも問題なく通過できます。ところが，土石流の場合，実際には水の10倍とか20倍という流量が突然出てくるところが大きな問題になっております。ですから水だけの設計をしていれば小さな断面でも十分通過できるのですけれども。（スライド交換）

実際には普通の水だけの量の10～20倍の流量となって土砂が出てくる。（スライド交換）

その中に大きな石を含んでいるということですので，この大きな石を安全に通過させる必要があることも道路の排水溝といいますか，河川構造物をつくる場合には検討しなければいけないことになります。（スライド交換）

こういうふうに大きな石が先頭に入ってくる。小さな断面のカルバートをつくりますとこういう石がカルバートとか橋脚に詰まってしまって，後から来る土砂を全部とめてしまう，ということで土石流に対する危険度判断の基準になります。（スライド交換）

これも連続写真です。（スライド交換）

このように大きな石が水と混じって流れてくるのが特徴です。先頭部に大きな石が集まるのですが，後から来るものはより小さなものが混じってくる，ということで頭でっかちのおたまじゃくしみたいなものが流れてくるということになります。（スライド交換）

土石流の特徴としましては，大きな石が含まれるのが大きな特徴ですけれども，そのほかに流速が非常に大きい。その中で大きく分けますと，大きな石が混じっている砂れき型の土石流。それから泥っぽいものが多く，含水比も高く，粒径も小たいものが多い泥流型の土石流と分かれますけれども，大体泥流型の方が流速が大きくて秒速10m前後，砂れき型の場合にはもう少し小さくて秒速数メートルの速さで流れてきます。

ただ，これは実際水深に対する流速で比較しますと水に比べてかなり遅い。それが流速係数で示されますけれども，流速係数が大体10前後で，洪水の場合にはこれが数十とか数百とかになりますので，同じ水深で考えればかなり流速は遅いのですけれども，それでも流量が大きくなりますので非常に速い速度で流れています。

こういうことから実際起こってから逃げることはできませんので，道路防災の場合でも事前に交通止めと

か交通規制をする必要があります。ある程度遠くの方で検知できれば起こってから交通遮断することも可能ですけれども，そういうのは桜島でやっていますけれども，一般的には起こる前に予知して交通規制をすることになります。（スライド交換）

土石流発生の原因としては幾つかあるのですが，一般的なものとしては山地の渓流にたまっている不安定な土砂が降雨とか豪雨のときに出てくる出水によって崩れて土石流に変化する。もう一つは，斜面から来た土砂が川に入って土石流となって流れ下るタイプがございます。ですから，渓流にたまっている土砂が土石流が大きくなるための原因になっていますので，例えば渓流に余り土砂がたまっていないと土石流が発生しにくい，あるいは発生しても大きな土石流にならない，ということが言えると思います。（スライド交換）

土石流の一つの特徴は破壊力が大きいことで，巨礫を含んでいますのでかなり大きなコンクリート構造物でも壊してしまうという特徴があります。（スライド交換）

当然途中に橋がありまして，断面が小さい場合ですと大きな石が橋台とか橋脚に衝突しますので，その場合には，床版が壊されてしまう。（スライド交換）

この場合はもともと小さな川ですけれども，普段の水だけだったら十分流せるのですが，土石流が出た場合にはとても流し切れないということで，こういう橋が逆に詰まる原因になりまして，この場合には流木なんかも入っていたのですけれども，橋のところに詰まって，そのために氾濫を起こし，下流の人家とかに被害を与えております。（スライド交換）

ここに道路があるのですが，鉄道がほぼ並行に走っていまして，上流から土石流が出て，ここに小さな橋があったのですけれども，当然水だけしか考えておりませんので流木とか土砂が詰まって氾濫しております。周りの家まで被害がありました。多分何もなかったら真っすぐに行ってしまって，こちらの家の被害はもっと軽く済んだんじゃないか，ということで道路とかつくる場合は橋自体の問題点と，周りに与える問題点の二つがあると思います。（スライド交換）

この場合ももともと小さな川ですけれども，土石流で詰まってしまって，土砂とか水が路面に氾濫している状況です。（スライド交換）

その下流では結局路面から落ちた水が路体の下部のところを洗っている。これがひどくなりますと路体が全部流されてしまうというふうになります。（スライド交換）

こういう土石流災害を防ぐための方法としては，砂防では砂防ダムをつくってこういう流下物をとめる。巨礫とか流木とかを上流の方でとめて，下流の方に流さない対策をしております。（スライド交換）

これはもう一つの砂防ダムですけれども，土石流の発生自体をある程度とめようということで渓床に階段状にダムをつくって，河床の不安定土砂をとめている状況です。（スライド交換）

一般的にはこういうふうにからっぽのダムをつくっておいて，土石流をここでとめてしまって下流に流さないという対策をしております。（スライド交換）

ダムの変形としてこういうスリット型のダムがあります。（スライド交換）

こういう対策を行っているのですけれども，土石流の場合の危険度判定といいますか，安定度調査の場合の評価の方法ですけれども，ここで一次評価をやっています。これはある渓流から土石流が発生する危険度を評価しております。要するに発生しやすいか，しにくいか，危険度で点数をつけております。

もう一つの評価方法としまして対策工の効果補正，ということで対策工が行われているかどうかというところでまた点数をつけております。対策工の中には，一つは先ほどの砂防ダムのような土石流の発生を抑止したり発生したものをとめるものと，もう一つは道路構造物自体の設計といいますか，安全性があります。ですから，一般的には土石流をとめればいいのですが，土石流が流下しても道路構造物，例えば橋が十分な断面を持っていれば，別に道路自体に問題はない。要するに橋の下を土石流が流れるだけで，道路施設としてはそれも一種の対策工であると考えられます。

その二つが主な評価項目で，あとはほかの現象と同じように災害履歴と区間重要度の補正を行って最終評価を行っております。（スライド交換）

これは全体を示しているのですが，最初は土石流の発生危険度判定，対策工の判定，砂防ダムとかの効果評価，道路構造物の安全性の検討，災害履歴，区間重要度，最終的な判定を行っております。（スライド交換）

一個一個小分けに分けてちょっと見にくいかと思うんですけれども，これが最初の自然条件での土石流の発生危険度の判定です。渓流からどの程度の危険度で出てくるかを判定しております。一つの重要な要素としまして，まず渓床堆積物が厚いか薄いか。要するに，一般的な土石流発生原因としては渓床堆積物が流れてくると考えられますので，厚い場合には非常に大きな土石流が出て危険で，薄い場合には土石流も小さいでしょうし，あるいは土石流にならなくて安全であるということで配点しております。

もう一つの重要な要素は渓床勾配です。土石流が発生するためには，例えば渓床堆積物から発生する場合は最低15度以上の勾配がないと発生しません。これは実験的にも過去の災害実態からもわかっておりまして，勾配の緩い箇所からは絶対と言っていいほど土石流は発生しませんので，渓床勾配によって分類できる。

あと，次の項目は流域面積です。当然流域面積が多いほど発生確率も高いですし，集水面積が多い分だけ水の流量も多くなって発生しやすい，ということで流域面積で分けております。

次に表層土の状態でいく方法で，表層土が厚いか薄いか，あるいは風化度，それから崩積土が多いかどうかで分けております。あと，基本的な基岩の地質で，火山地帯とか，そういうことで分けております。

さらに，地すべりと同じように湧水の有無とか，比較的規模の大きい崩壊履歴があるかどうか。それから，新しい崩壊が認められるかどうか。

変わったところとしては豪雪地帯かどうか。雪の多いところでは地すべりとかも融雪期に起こる，ということで1点ですけれども，与えております。

それから，地被条件で，裸地からは山腹崩壊あるいは通常の表面侵食によって土砂が供給されやすいので，そういうところからは土石流が起こりやすいということになっております。

それから山腹の勾配，一般的には渓床堆積物が土石流化する場合と，もう一つ大きな原因としては山腹崩壊したものが流動化して渓流を流れ下る場合がありますので，山腹崩壊の危険度として山腹斜面の勾配を与えております。これも各危険度ごとに集計しまして全体で点数を与えて，土石流の発生危険度のランクを与えております。（スライド交換）

次は対策工ですけれども，一次評価で25点とか先ほどの合計点数で発生危険度を与えているのですけれども，次に対策工のこういう場合は砂防ダムとかそういうものの効果が減点したり，加点しておきます。要す

るに対策工が済んでいれば，元来の発生危険度は高くても途中でとめたりできますので，流下してくるときの危険度は，低くなるという考え方です。（スライド交換）

次に，たとえ土石流が発生して流下したとしても，十分な断面積を持って橋が設計されていれば特に問題ない，ということで橋の断面積として流下幅と橋の桁下の高さで配点しております。もちろん断面積は大きいほど安全であるということでマイナス点で引いております。（スライド交換）

災害の履歴ということで土石流の頻度は一般的にかなり低いので，必ずしも合っているかどうかわからないのですが，一般的な考え方から言っても，最近土石流が起こったところはそれなりに配慮する必要がある，ということで直近の対策以降に土石流による支障が出たかどうかということで判定しております。（スライド交換）

最終的にそれを考慮しまして災害点を与えております。（スライド交換）

これは区間重要度の補正を行っております。ほかのものと同様でございます。（スライド交換）

最終的に四つのランクに分けております。（スライド交換）

途中に幾つか判定基準としてわかりにくいところがありますので，その説明ですけれども，渓床堆積物の堆積深というのは重要なんですけれども，実際に調べるときは非常にやりにくいものです。表面から見てもどの程度の深さがあるか調べにくいのですけれども，それは両側の地形とか，一番いいのはボーリングをやることですけれども，この調査ではそこまで要求しておりません。砂防ダムとか施工しているところがあればそういうところから見るという判定で行っております。（スライド交換）

もう一つの調査時のまぎらわしいところとしましては渓流の定義がございます。等高線のこちらが山でこのように谷があるとしますと，渓流とはどういうところを定義するかということで，この場合は等高線の出っ張ったところの間の幅と奥行きで定義しております。要するに，この幅が奥行きの2倍よりも小さい。谷地形になっているところで渓流になっているという定義をしております。ただ，実際には現実の地形図を見ますと余り単純でない場合がありますので，簡単に判定できない場合もありますけれども，一つの目安としてある程度等高線がへこんでいるところを，谷としております。（スライド交換）

もう一つは対策工の効果の判定のときの配点ですけれども，実際には各谷から出てくる生産土砂量と構造物による調節量，あるいは発生抑止量を計算すればいいのですけれども，非常に煩雑な調査になりますので，ここでは簡略化しております。当然生産土砂量は流域面積にある程度比例してきますので，こちらに流域面積をとってランク別に分けております。各流域面積ごとに大体の生産土砂量を推定して，その谷に例えば砂防ダムを入れた場合の土砂量を概略計算しまして，それによって100％以上の土砂をとめれる場合は十分というランクにしております。あと，3分の2ぐらいとめられればいい。3分の1ぐらいとめられればいい。その以下の場合というふうに区分して配点をしております。（スライド交換）

もう一つの砂防ダムの高さですけれども，ここでは実際の高さは地中に入っている部分もありますけれども，なかなかわからないということで，実際に調査できるのは元河床から上の方ですので，現地調査でも調査しやすい有効高ということで河床よりも上の高さを砂防ダムの高さとしております。これを累計してやればある程度土砂量が出てくるということで今回の判定表に使っております。（スライド交換）

もう一つのダムの横過構造物，橋の断面の判定ですけれども，単純に通過幅と桁下の高さで判定しており

ます。こういうところを調べれば比較的簡便に判定できることになっています。

質　疑　応　答

○浅井（基礎研究室）　ちょっと細かいところですが，安定度調査表の道路構造による補正のところで流路幅と桁下高さをこういうふうに区分けして点数でやってあるのですが，例えば桁下高さでいえば5m以上はすべて一律になっていますけれども，実際の土石流の流れの厚さをもって考えられてやられているかどうか，というのをお尋ねしたいわけで，例えば流路幅が5mから10mの範囲で桁下高さが5mの橋と，桁下高さが10mあるいは20mの橋とでは補正の点が一緒になるわけですが，実際そういう渓流で土石流が発生した場合を考えまして，例えばその土石流の厚さが5m以下で流れてくるのか，それとも厚さ7mとか8mの土石流が起こり得るのか，ということで実際には補正を変える必要がある場合もでてくるかと思うんです。その辺を教えていただければと思います。

○石川　説明を忘れましたけれども，桁下高さ5mというのが，今まで土石流が出た後の上流域の川の痕跡といいますか，どこまで土石流が流れたかを調べますと，一般的には5mが最大になります。ただ，非常に狭い部分とか曲がった部分では局部的に片側が高くなる場合があるのですけれども，一般的には5mという高さは土石流としても極めて大きな部類で，せいぜい5mぐらいが限度じゃないかと思われます。

それから，もちろん流域面積とかによっても多少変わるのですけれども，過去の事例からも5m以上の土石流は現実的にも余り起こらないということで決めております。

もう一つの要因としては，流動深が5mの土石流中に含まれている巨礫の大きさも大体2～3mが一般的ですので，それの倍ぐらいあればいいし，流路幅についてもそういう大きな石が詰まらないということである程度決めております。ですから，流量と中に含まれている材料の大きさによって本当は決まるのですけれども，これはかなり簡略化して，過去の土石流の流れた幅とか高さを参考にして決めております。

○浅井　ありがとうございました。

○本郷（北陸地建）　先ほど話の中で流域面積で判定するというお話があったことが一つと，区間ごとのというお話があったと思いますが，一つ目の流域面積ですが，5ha以上あるいは5ha未満，この辺の決められた根拠が一つ。

それから，発生区間をどういうふうに設定してこの調査表に記入すればいいのか。ある意味では基準点といいますか，区間の基準といいますか，その辺をお聞きしたいのです。

○石川　最初に流域面積ですけれども，例えば発生確率からしますと流域面積が大きい方がすべるエリアも大きいので発生する確率が大きいのですけれども，一般的に流域面積が大きくなり過ぎますと今度は渓床勾配が緩くなりますので，この場合の流域面積というのは道路横過地点から上流という定義をしていますので，道路に影響するような土石流が到達する可能性も減ってくる。もちろんかなり影響があるのですが，5haを基準にしております。

5ha以上と5ha未満ですと，以上というのはかなり幅が広いのですが，一般的に土石流の発生するところで大きいのは0.1平方キロとかそういうところで，せいぜい3平方キロが一般的には最大の流域面積になります。ですから50平方キロとか，そういう流域の大きい所で発生しても，それが50平方キロの地点のところ

まで達する可能性はほとんどあり得ないことになります。その中で5haという線を引いたのは，一つはもともと砂防で使っております土石流危険区域の調査要領を土台にしておるからです。

現在，建設省で全国の土石流危険渓流を調べておりまして，この場合には5戸以上の人家に影響があると考えられる土石流危険渓流を調べているのですけれども，それが現在7万箇所ある。それについてはこの方式でA，B，Cのランクに分かれております。実際それでやっておりますので，それと整合がとれないのは行政上も後々問題になる，ということで一応ある程度整合をとっております。

その土石流危険渓流調査では実は流域面積は5ha以上という定義になっておりまして，5ha未満は危険渓流に入っておりません。ただ，57年の長崎水害なんか見ますと，これよりもかなり小さな，斜面に近いようなところでも土石流が起こっておりまして，それにも配慮する必要がある。約半数が小さな斜面から起こっている，ということでここではあえて小さな斜面といいますか，流域まで入れております。そこで5haという線引きをしております。

もう一つ，土石流の発生区間をどうするかということですけれども，まず一つは河床といいますか，渓床堆積物から発生する場合には理論的に言っても15度以上でないと事実上発生しないことがわかっております。ただ，流域面積の中で土石流が発生するのは渓床だけじゃなくて山腹崩壊からくるものがありますので，その場合には渓床が緩くても例えば10度未満でも山腹崩壊で一旦川に入って，それが流れ出してくることが考えられますので，この最急渓床勾配は，土石流の発生地点というのは渓床堆積物の場合は15度以上，山腹崩壊の場合は15度未満でも起こる，ということで基準点としましては，ここでは道路が渓流を横過している，横断している地点が基準点になっております。それよりも上流において約100mの区間の平均値として一番急なところを調べるというふうになっております。

もちろん滝とかになりますと局部的には非常に急なんですけれども，そういうのもある程度除外するために100m平均での急勾配を定義しております。

○本郷　わかりました。今の説明で一つだけ配点の仕方で，渓床堆積の厚さと今ほどおっしゃった山腹による配点の点数がかなり開いていると思うんですが，この辺の重要度といいますか，この配点の仕方はどういうふうに決められているのですか。

○石川　山腹から落ちる場合もあるのですけれども，山腹から落ちても渓床勾配がかなり緩いと途中でとまる可能性も高いわけです。逆に言えば10度未満でも，10度を過ぎますと土石流自体がとまる，堆積領域になりますので，例えばたまたま渓床から起こらない場合で山腹崩壊が起こって渓床に入っても，渓床が緩いとか渓床堆積物が少ないと割合下流に出てくる可能性が少ない。

一方，渓床堆積物が多いと発生地点では小さくても途中でかなり肥大するといいますか，途中から土砂を取り込んで大きくなる可能性がある。実際現場に行きますと発生地点ではたいした崩壊でなくても途中の土砂をかなり取り込んで，結果的に下流には大きな土石流になって出てくる場合が非常に多いということです。ですからそういうことも考慮して渓床堆積物は土石流の発生だけでなくて，流下の量，発生土砂についても大きな要素になっているということでかなり配点を高くしております。

○本郷　わかりました。ありがとうございました。

○平野　私はたまたま熊本の工事事務所におりまして，この夏に大災害が阿蘇の方で発生したわけですけれ

ども，恐らく石川室長も現場に行かれたと思うんですが，あの災害を仮に土石流と解釈すれば今回のこの点検表であれが拾えるかどうか，ちょっと疑問に思っているのですが，いかがでしょうか。

○石川　熊本の場合はいろいろとありますけれども，災害の原因ですけれども，多分一の宮の市街地といいますか，人家のところで氾濫した原因は第１に流木が橋に詰まったのが大きな原因だと思います。実際行ってみますと完全に橋が流木で詰まってせき止められている。上から来たのはこの場合は泥流という方が定義としては正しいと思うんですけれども，泥流が流木と一緒に流れ出して，それが周りの人家を壊していった災害だと思います。

土石流と泥流は余りきちっとした分類はできないのですけれども，あの災害ですと大きな石はほとんど中流部でとまっている。具体的にはＪＲの鉄道橋の付近で大きな石はほとんどとまっていまして，市街地まで流れてきているのはほとんど火山灰，細粒分と水と流木でございます。

土石流が発生する場合にはほとんどの場合，上に木がない場合を除いては流木が発生するので，本来流木も考えてやる必要があるのですが，ここでは話がややこしくなることもあって，流木災害の場合はまた別の判定基準が必要かと思います。というのは，それは土石流の危険区域より下流でも，要するに河川区域でも流木災害が発生する可能性がありますので，また別の判定表が必要かと思います。

結論から言いますと，一の宮の市街地を襲ったのはこの表では拾えません。というのは，一般的に３度以上の流域が土石流の氾濫区域と規定しておりますし，今の危険調査要領も大体それに準拠しておりますので，実際の現象もあれを土石流というのはそれなりに問題があるんじゃないか。土石流による災害というよりは，やはり発生原因自体が流木だと考えられます。流れたものは泥流といいますか，高濃度の土砂流に近いものと考えられております。ああいうのはこの表では多分うまく拾われてこないということになると思います。

もし，あの中で流木がなければ，あの洪水はそれほど大きな被害を出さずに，泥流自体が下流に流れたんじゃないかと私は思っております。ですから，発生源では確かに土石流だったのですけれども，途中で泥流に変わっている。しかも被害を直接発生させた原因は流木じゃないかと考えております。

○平野　わかりました。

e）盛　土

皆さん防災点検手法について御説明いただいているのですが，その中で盛土はどういった意味を持つかということで過去の統計的な話を若干させていただきたいと思います。

道路災害を統計的に調べてみたのですが，昭和56年から60年の５年間につきまして直轄国道で自然災害によるものが380箇所ありまして，そういったものを災害の種類とか形態あるいは誘因といったもので整理したわけであります。そういたしますと，災害規模は問わないのですが，箇所からいいますと盛土が約半分，意外に多いということになります。それから切土，自然斜面，橋梁，洞門です。数だけでは盛土はかなり多いわけでございます。

それを引き起こした原因ですけれども，推定されますように雨によるものが９割以上，それから地震が５％，あとは融雪，地すべりといったものが原因になっております。

そういったことで盛土も，今回点検手法をつくるということで努力してみたわけですが，細かい手法に入ります前に過去の被災事例を若干御紹介したいと思います。スライドでパターン化したものとそれに対する実例ということで御紹介してまいります。アトランダムに出てまいりますけれども，これは切盛境の例です。こちらに切土があって盛土がある。地形上こういった切土のところに降った，あるいは路面に降った雨が盛土側にまで流れてくることが多いわけですが，こういったところで洗掘が起きます。（スライド交換）

これは盛土のこちらが斜面になっていまして，そしてコンクリート舗装がくずれている。（スライド交換）

これも同様でございます。（スライド交換）

これもこういったところが大きく穴があいている。（スライド交換）

一応横断排水があっても排水不良で被害を受けることが多いのです。ここで排水施設が屈曲しています。そういたしますと水の流れがうまくいかずに，溢れたりすることが引き金となって盛土が壊れることもございます。（スライド交換）

これもそういった例でございます。（スライド交換）

これは横断的に見たものですが，横断排水路がカルバートといいますか，床版工形式でできたもので構造体自体は完全に破損はしておりませんが，下部が洗掘されてばたっと倒れる。これは非常にまれな，特殊な例だと思いますが，水が引き金になって被害に至ったものです。（スライド交換）

これが上から見た被害の様子です。（スライド交換）

細かくといいますか，具体的な手法の話になりますが，今ざっと幾つかアトランダムに見ていただいてわかりますように，盛土というのは結局は水ですね。落石なんかは何が原因か解らないことも多いかと思います。思わぬときにぽろっと落ちることがあるのですが，盛土はそういうことはなくて，基本的には雨によって生ずる。水の流れで洗掘とかそういったものによって生ずると言っていいかと思います。盛土といいましても，いろいろ置かれた地形条件によっていろんなタイプの盛土が実際あり得るわけです。片切・片盛あるいは両盛，それから切盛境がある場合，それから両盛であっても全く平坦地か，若干傾斜しているか，あるいは渓流横過しているか，といったことで幾つかのパターンに分けて水の集まり具合を考えた方がいいんじゃないか，ということでこういったカテゴリーを用いまして点検手法をつくっております。（スライド交換）

大体のイメージは言葉でおわかりいただけると思います。片切・片盛はこういったところで，水の流れと

しては表面水が流れる，あるいは浸透水がある。そういった面では被害に至る。（スライド交換）

両盛で平地ですと雨によることは余り起きないと思うんですが，こういった水路が必ずしも十分でないような場合に問題となる場合があろうかと思われます。このような切盛境ですね。（スライド交換）

両盛土であっても，これはちょっと極端に書いていますが，若干傾斜したところに盛土されていますとどうしても水が集まりやすい。例えばこの辺に排水路を設けてないとだんだんたまって，そういったものが引き金になって被害に至ることも見られました。（スライド交換）

これは先ほどの土石流とも関連するのですが，渓流横過部での両盛土，こういったところもウィークポイントとして大きなところでございます。（スライド交換）

今のようなカテゴリーに分類するための作業でございます。（スライド交換）

細かいのでテキストの方で御説明したいと思います。最初に統計で御説明して盛土は結構被害が多いんだと申し上げましたけれども，母集団自体も随分盛土というのは大きいわけで，現実に点検するとなりますと，どの盛土を見るのかといったことが出発点として重要になります。どこを抽出するかということにつきましてテキストの８ページに箇条書にして挙げております。まず寸法的に余り低い盛土は対象にしない。（６）の盛土のところでございますが，盛土高が高い箇所，数値としましては擁壁部を含む盛土全高が５ｍ以上，擁壁より上の，土の部分が高さ３ｍ以上，こういった条件に合致するところの盛土を点検対象にしましょうということでございます。

それから１）から８）までずっと挙げていますが，ざっと見ていただければわかりますけれども，災害履歴とか現在変状があるもの，あるいは地形的に地すべり地とか，斜面とか，いわゆる不安定になりがちなところを対象とします。それから，集水の可能性が高いところや先ほど御紹介しました切盛境のところとか，河川の洗掘を受けるところ，そういったところは点検対象としていただきたいという思想でございます。

そのページの一番下に渓流横過部のことを書いていますが，土石流との仕分けが重要なわけで，余り大規模なものをこちらで扱うのもよろしくございませんので，上流部の流域面積１haより大きい渓流を横過しているときは土石流の方でチェックしていただくという仕分けになっております。

盛土の具体的な安定度評価の考え方につきましては，66ページから３－９ということで盛土に関する点検のことが挙げられております。安定度評価の表がございますが，基本的には今までほかの現象について御説明いただいたのと変わりません。崩壊を生ずる可能をチェックするために要因からの評価を一次評価として行って，現在の対策工の効果を補正する。それから既往災害のことを考慮して二次評価に至る。

盛土について特殊な項目を入れておりますのは，復旧困難度補正，多分これはほかの現象には入れていなかったと思いますが，盛土独特の要因を入れております。

数値は後程紹介しますけれども，基本的には小さい盛土なら万が一壊れても土を持ってきて簡単に直せるであろうから，必ずしも対策優先度は高くないのではないか，そういった思想でございます。

次のページに参りまして，先ほどスライドでも見ましたが，盛土条件の区分です。

その図の下に「対策の必要性の評価に考慮する要因」，これは現象の起きやすさに影響する要因といってもよろしいのですが，項目的には変状ですね。亀裂とか何か問題があるとやはり壊れやすいんじゃないか。

それから基礎地盤，例えば軟弱地盤は悪いと言われていますけれども，雨に起因して軟弱地盤というモデ

ルが壊れやすいかどうか，それほど明確ではございませんが，やはり安定したものよりは不安定なものの方が安定度は低い，ということで基礎地盤も一つの項目に挙がっているわけです。

それから盛土材料，普通ですと粘土が悪くて，砂っぽいとかれき混じりの方がいいと言われておりますが，水に対しては砂の方がむしろ浸透も受けやすく，また洗掘も受けやすいということで，砂か，その他の土かということで分けております。砂の方が安定度は低いという評価をするように表をつくっております。

それから地下水・表面水の集まり具合です。それから渓流の状況。それから外側の洗掘で河川水，波浪の影響，こういったものも大きな項目になろうかと思います。それから対策工，既往の災害を考慮するようになっています。

以上のように盛土を幾つかに分けていることと，要因が幾つかあることを考えましてそれをマトリックスのようにして後程調査表にしております。具体的な形が70ページの見開きのところでございます。左側が一次評価のための表ですけれども，横軸は盛土の形態といいますか，それによる区分，縦軸が要因。これをつくった基本データといたしまして，約百数十例の被災事例を我々は持っておりまして，それについてできるだけ被災の程度とか被災の差の判別を試行錯誤で点を割り付けていったものでございますが，例えば変状ではクラックとか，洗掘があるとか，肌落ちがあるといったことを見ていただきたいと思います。

盛土材では，先ほど言いましたように砂質土だけが悪い。点が高い方が悪いわけで，わずか1点差ですけれども，砂質土が悪くて粘性土やれき質土はいいという考えです。

それから何度も繰り返しますが，水が悪さをして盛土が壊れるわけですけれども，普段見に行くと必ずしも雨のときの水の影響がどうかというのはよくわからないのですが，例えば過去のちょっとした雨のときにのり面を水が流れて，そういった流水跡が残っているかどうか，あるいは常時湿潤しているか，そういったことに重点を置いて見ていただくのがよいと思います。そういったところは点数が高い。不安定な要因であるという評価をするようにしております。

渓流の状況ですが，渓流自体への影響と，当然何らか対策工があるのが一般ですけれども，対策工の規模とか線形，屈曲とか縮小とかがあるかどうか。二つに分けてトータルして渓流の状況を評価していただければと思います。それから河川水・波浪の影響。

そういったことで要因からの評価をしていただきまして，次に右へ行きまして対策工の効果補正，それぞれ要因に対してどういった対策がしてあるか。対策があればマイナスということで危険度が低くなるようになっております。例えば構造的な対策とか抑制工とか，非常に一般的な表現をしておりますが，それぞれが具体的な工法とどういった対応をしているかは78ページに示しています。現実にいろんなのり面保護工が用いられておるわけですけれども，これは「のり面工斜面安定工指針」からとってあるのですが，どういったものを抑制工と判断するかとか，構造的な対策と見るかといったカテゴリーを求めて示しております。変状対策については抑制工か，構造的な対策かという分類です。

それから，表に戻るとわかるのですが，水に対しては別の分類をしておりますけれども，それにつきましてもそれぞれどういったものをそう名付けているかを示しております。

70ページに戻っていただきまして安定度調査表でございますが，見ていただけばわかりますようにここまで非常に小さい点で評価しております。それで，防災点検全体を通じての話ですけれども，全体的に例えば

非常に危い所を100点といったところで，判断したいということがございまして，ここまでは小さな点ですが，それが先ほどの対策工の効果補正の右下の（B）という欄にありますけれども，そういった数値をほかと同じような土俵で判断するために，その下に得点の換算という細長い表がございますが，（C）という，ほかと同レベルの点数に換算し直す表でございます。それで要因からの評価で大きい（C）という欄が，安定度二次評価の一番上の欄ですけれども，ここに記入して頂きます。

もう一つ，一番右に安定度一次評価，履歴からの評価でございますが，ほかの現象と同じような大きな点で評価していただく。その二つを比べて大きい方を安定度二次評価としていただくわけなんですが，さらに，先ほど言いましたように，盛土の場合には復旧困難度補正といったものを，入れていまして，盛土の高いものはやはり壊れたときに直しにくいだろう。そういった思想を入れて，それをつけるようになっております。

区間重要度につきまして，最終評価はランクⅠからⅣ，意味合いはほかの点検手法と同様でございます。

この表はわかりにくくて，実際現場で使われてどういった感じを持っておられるか，わかりにくいなと思っておられるんじゃないかと思うんですが，少しでも理解を助けますように71ページ以降に被害の原因とか，あるいは項目の見方とかを図等を使って御説明しておるところでございます。この辺を御説明しますと長くなりますので，これで終わらせていただきます。いずれにしましても，今回，使われた結果，あるいはそのときの使い勝手等を実際に御意見をいただいて，次の機会には修正するようにしたいと考えております。以上でございます。

質　疑　応　答

○橋村（九州地建）　変な質問かもしれませんけれども，最近ＥＰＳ工法ということで発泡スチロールを使ったような盛土がやられておるわけですが，何かの技術書に大規模な地すべり地帯にそういった工法が採用された例があったのですが，盛土の材料からいくとそういったところが対象になった場合は「不明」というところでよろしいのでしょうか。

○古賀　特殊なものはこういった横並びの，従来から数多くある土のものとは同一にできないんじゃないでしょうか。例えば単体重量が違いますから，全く適用外と考える方がいいんじゃないかと私は思います。

○橋村　わかりました。

○司会　そのほかございますでしょうか。

○田中（中部地建）　最初の左の判定表のところですが，単純に渓流のある片切・片盛のところ，あと，渓流を横過する部分のところについては丸々点数が上乗せされるような形になっていますが，盛土の状況がほとんど同じであっても渓流を通るようなところについては危険度が高いと考えていいでしょうか。最終的なランクのところに行って１ランク上がるとか，そういうような結果が出てくるかとは思うんですが。

○古賀　そういうふうに考えた方がいいと思います。5,6年前になりますが，島根とか長崎の豪雨でカルバートとかそういったものが問題になったときの例ですが，そのときの被害形態をパターン分類したものです。渓流とか，排水時があるところではカルバートが破損して，盛土がこの部分から崩れることがありました。

それから，ここの土砂が大量の場合ですけれども，そうでなくても，この土砂を十分流し切らなくて，どんどんダムアップするような形で，オーバーフローが起きてから全体の崩壊に至ったということもありました。いずれにいたしましても非常に水の集まりやすいところですから，ほかのところに比べてはるかに危険度が高いと見ていいんじゃないかと思っております。そういうことでよろしいでしょうか。

○田中　ありがとうございました。

○司会　そのほかございますでしょうか。

○浅井　渓流のことに関して，今，見せていただいたのですが，例えば先ほどの土石流等とも関連してくると思うんですが，ちょっと細かいことになるのですが，「渓流の状況」のところで，例えば排水工断面が，100cm未満では点が入る。そこに該当しなければ点が入らないというふうに分けてあるのですが，先ほど橋のところで質問したときにお聞かせいただいたのでは，土石流の高さが５ｍぐらいで流れてくるやつが最大，石として２～３ｍのものが流れてくる，大きい場合には。そういうことを考えますと，単に100cm未満で点を上乗せする，上乗せしないといったあたりがちょっと不適当というか，細かいことを言えばそうですけれども，例えばそういうのを多少土石流に関する点検と絡め合わせたというか，そういうふうな考慮も必要かと思うんですが，その辺の見直し等に関するものは実際やられようとしているのかどうか，教えていただければと思うんです。

○古賀　これからの作業ですけれども，土石流は必ずしも詳しくないのですが，先ほど石川室長から御紹介いただいたのは渓流面積との関連で出る最大値ではないかと思うんです。今の説明で，最初の方で申し上げ

ましたように，渓流横過部であっても上流の流域面積によって土石流の点検手法を使うか，こちらを使うかという区分をしておりますので，こちらでは1haより小さい渓流だけを扱うわけですので，この場合にはそこまで考えなくていいんじゃないかと感じております。これからもう少しデータを集めていきたいと思いますけれども。

○司会　そのほかございますでしょうか。なかったら盛土の項目を終わらせていただきます。どうもありがとうございました。

Ⅱ. 総合討論

○司会　以上で防災点検の資料について説明あるいは討議があったわけでございますけれども，各項目ごとの討議でございましたので，午前中の課題，それから粘土鉱物含有骨材，全部を通じまして何か御質問なり御意見のある方がおられましたらどうぞ。

○近藤　先ほど渡さんの分類に関して年代を型分類にした方がいいんじゃないかという質問に対して答えができませんでしたが，今考えておりますのが，先ほど現場に行けばわかるだろうということがありましたけれども，私どもとしてはなかなかわかりにくいだろうという点と，もう一つ，型分類，例えば岩盤すべりとか崩積土すべりといった型分類をしたとしても，非常に危険な状態のすべりであることには間違いないとしますと，そういった型分類で危険度を評価することがなかなか難しい。逆にそういった分類は対策工とか調査方法に有効に使っていくものというふうに考えておりまして，今回の方法にしております。

○平野　先ほどのは若干意味が通じてないような気もいたしますけれども，渡さんの分類に従って，実際の山は，この地すべりは何とかタイプだという話じゃなくて，渡さんの分類の中に重要な要素として斜面を構成する岩石あるいは軟岩，風化岩，いろいろありますが，そういった石の硬さ，物性といいますか，そういった性質に基づいた，そこらへんに着目して分類しておるという話で，ですから分類要素は地すべりを考える上で非常に重要ではなかろうか。そういう目で見ますと，この点検表に入っておらないから，そこらへんも加味されたらいいんじゃないかと。その地域あるいはその斜面で風化岩が非常に発達しておるのか，あるいは土砂が多いのか，崖錐が多いのか，そのくらいは踏査する人だったらわかるんじゃないか。実際はコンサルタントあたりに発注されてつくられると思いますので，そのくらいはわかるんじゃないかという希望的観測があって，風化の程度とかあるいは石の柔らかさ，そこらへんの要素が入ってもいいんじゃないかという話で，タイプにこだわるわけではございません。

○近藤　石の硬さによって危険度が変わってくるだろうということを想定されているということでしょうか。風化岩とか崖錐が多いとかいったもので分類したことによって，それぞれの分類に対して危険度が違っているんじゃないかと想定されて，そういう分類をするということでしょうか。

○平野　単純にどういう岩盤でできておるか，硬い石でできておるから安定か，不安定か，それは言えないと思うんですね。同じ硬い石でできておるところでも割れ目があって安定度は違うし，あるいは風化岩であってもほかの要素によって安定度はまた違うでしょうから，必ずしもそうは言えないと思うんですけれども，一つの要素になるんじゃなかろうかと思っているというだけの話です。

○司会　そのほか何か御意見のある方，どうぞ。

○渡辺砂防部長　地質地形災害が起こりますと必ず，事前にわかっていた，おれに頼んでおけば予見できたと言わんばかりの意見が出てきます。そういったものは論外としましても，あそこは以前から危なかった。心配していた，気にしていたという意見も結構出てきます。今のガイドブックの内容は主として本当に物理的な因子に着目したもので，それに基づいて点をつけるということだと思いますけれども，そういう沿線の人たちの危ぐとか，意見とか，体験とか，そういったものを拾い出して優先度を変えていくといったようなことはこのガイドブックの趣旨にはないものでしょうか。

○平野　全く今，部長がおっしゃった御意見は私も同感です。先ほどの熊本の一の宮の災害の話ですけれども，恐らく熊本工事の方もわからないし，地元の一の宮の町役場も，住民も，ああいうところでああいう災

害が起こるとは知らなかったと思います。ただ，いろんな先生方の御意見を聞きますと，まさに結果論ですけれども，あの地域はまっ平らなところじゃなくて，先ほどのような火山灰が，1,2度か3度か知りませんが，かなり緩傾斜で堆積しておる。そこはもともと土石流帯というか，そういった扇状地地形をしておった。まさに結果論ですけれども，そういったところで予測できたとまでおっしゃいませんけれども，そういった地形があるという指摘はあるわけですから，全く同感で，地元の話もあると思いますけれども，地形みたいな，土石流の起こった結果堆積したいろんなものがある。中には大河川に入り込んでしまって残らないものもあるでしょうけれども，痕跡とか堆積物みたいな，そこらへんも調査されたらいいんじゃなかろうか。同時に，言われたように，言い伝えみたいなやつ，古老の言い伝えとか，そういったやつも調査されたらいいんじゃないか，ということで付け加えさせていただきます。期待しておりますので。

○西川　点検ガイドブックの5ページに今の件に関して多少言い訳的ですけれども，箇所の抽出に関しては管理者独自の判断で危険と考える箇所を挙げるというところで，ローカルの場で日常見聞きしていることで特にこの場所は危険だから取り上げよう，そういう判断も入るということでガイドブックには記載されている。だから今の指摘で，言葉だけかもしれませんが，多少はそれもカバーするような書き方にはなっております。

○司会　そのほか御意見おありでしょうか。

○　　落石・崩壊と岩石崩壊のところについて，調査をする範囲ですね。ポイントとしてはこちらに挙げてあるのですが，道路に対してどれくらいの範囲までというのはどちらかというと技術者の判断に任されているような形になっているのですが，ある程度の指標みたいものはできないでしょうか。

○西川　一応被害の想定範囲ということで，目安は7ページに，のり面・斜面高の2倍程度以上。つまり一応いろんな災害事例で落石にしろ，岩石崩壊にしろ，発生した場所が届くところがのり面・斜面高の2倍程度までという実績があるので，道路からどれだけかという目安としてはそれだけですね。

もう一つは，延々と続く崖をどこまで調べるかということが今の御質問かと思うんですけれども，これも実は調べてみなきゃわからないことではあるので，最初からここまでとしておくことはなかなか言いがたい面もあるわけです。そこを調べた結果，そこでもし落石なり崩壊が発生したらどこまで届くか。一体道路まで届くのか，そういうことが言えるならばそこまで調べなきゃいけないことになるわけで，実際はこれもかなり個々の場所の条件を加味しながら見なきゃいけない。一様に続くところまでとは言えないわけです。実際そこで崩壊が発生したら道路まで届くかどうかということを念頭に置いて調査範囲を決めるというあいまいな言い方にならざるを得ないかと思うんです。

○司会　そのほかございますでしょうか。

○小林　防災ガイドブックの点検の目的が，道路橋なんかですと通常点検，詳細点検とか異常時点検と点検の種類を分けているんですね。どういう種類の点検か，余り明確に書いていないのですが，非常に早く点数をくれて，精度が粗くても答えが早く出るようにということが目的で書かれているところを見ますと，これは通常点数，早くさっと精度は悪くても点検する種類の点検じゃないかと思いますが，つくられた方どなたか代表してお答えいただければと思います。

というのは，精度が粗いので，もっと詳細にやったらもっと詳しく出るんじゃないかという御意見もあり

ましたので，念のためにお聞きしたわけでございます。

○司会　その辺の事情をどなたか。西川さんでよろしいですか。

○西川　おっしゃるとおり，ある程度計画を立てるために粗く抽出するための調査ということで，その段階でいろんな細かい調査手法を持ち込むものではないと理解していいかと思いますが。

○古賀　ただいまの補足ですが，ガイドブックの１ページに総則，目的とございまして，今，西川さんがおっしゃったとおりですが，基本的には危険なところを抽出する。その後はより詳細な調査や観測の継続を行った上で必要な対応を取る，そういった本当の初期の段階の調査というふうに御理解いただければよろしいかと思います。

○司会　そのほかございますでしょうか。それでは，時間も大変超過しましたので議論の方はこのくらいにしたいと思います。

第24回地質担当者会議資料

ＩＳＳＮ　0386－5878
土研資料　第3021号
平成３年８月　(1991)

佐々木康, 小林茂敏, 脇坂安彦, 三木博史
西川純一, 近藤観慈, 石川芳治, 古賀泰之

要旨　平成２年12月14日に開催された第24回地質担当者会議で行われた次の講演が収録されている。
1. 90年７月フィリピン地震災害
2. 酸性雨とコンクリート
3. 粘土鉱物含有骨材の特性と利用上の問題点
4. 斜面安定度調査手法

キーワード：地質調査・のり面・斜面・ダム地質・フィリピン地震・断層・酸性雨・コンクリート・骨材

郵便はがき

郵便切手をはって下さい

3 0 5 - □□

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
地質化学部地質研究室　行

No.　02

No.　02

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3021号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印