

南北海道地方の土木構造物の震害調査

Seismic Damages to Civil Engineering Structures in Southern Hokkaido

久保慶三郎*

Keizaburo KUBO

本年 5 月 16 日の十勝沖地震における土木構造物の被害のうち、北海道南部の太平洋岸沿いの地域を調査した。本州側の被害に比し、震央距離も遠いため、北海道地方はそれほど大きい被害をこうむらなかった。本報告は北海道南部の震害を従来の震害と比較しながら記述した。

1. 北海道における震害一般

最初に本年 5 月の十勝沖地震の大略を把握するために、被害の発生件数を、昭和 27 年 3 月 4 日の十勝沖地震の被害件数と対比させ、表 1 にまとめた。被害件数には軽微なものも含まれているので、予想外に大きな値を示している。前回の地震の規模は $M=8.2$ で今回の $M=7.8$ より大きく、したがって被害にも差がでていはずで、発生件数のみでは有意に地震の規模に差が生じているとはいえなかった。被害金額で対比することも考えたが、物価の変動などもあり、正しい尺度にはなりにくいと考えたので一応被害件数で対比させた。図 1 には二つの地震の各地の震度分布を示した。

表 1 十勝沖地震被害概況

		1952	1968
公共土木施設	道 路	101	104
	橋 梁	72	40
	河 川	48	42
	港 湾	23	25
国鉄関係	軌 道	94	97
	橋 梁	110	63
	トンネル	4	10
	停車場	91	72

1968 年地震の苦小牧の震度 VI については後に詳述するが評価が過大であり、震度 V 位ではなかったかと思われる。函館大学建物の倒壊があったが、概括的にいえば、北海道地方の地震の強さは前回よりはいくぶん低かったようである。

図 1 の震度分布図中に橋梁の被害地点も記入しておいたが、被害分布と震度階との関係から今回および前回の地震について次のことが結論される。すなわち橋梁に被害を発生せしめる架橋地点の地震の強さは V 以上であり、中以上の被害は震度階 VI 以上に発生する。ここに述

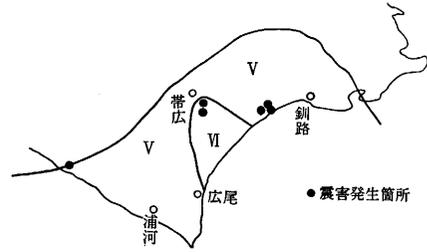


図 1 (a) 水平変位、傾斜した鉄道橋脚分布図

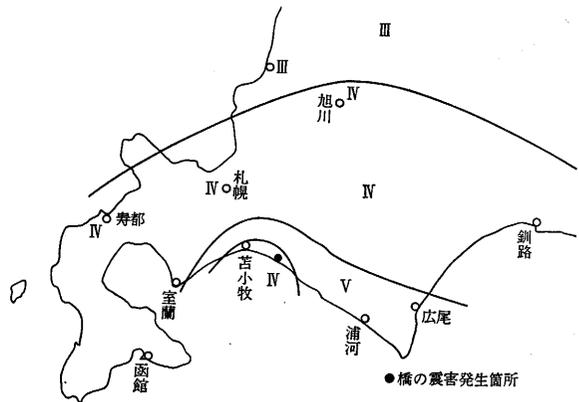


図 1 (b) 1968 年十勝沖地震・震度分布図

べた結論はマクロ的な把握の仕方であって、橋は架橋地点が異なると地盤の力学的性質を異にするほか、橋長、スパン長、構造形式 (けた橋、トラス、アーチ、その他)、橋脚の高さなど、十橋十色である。今回の地震でも地震の強かった胆振、日高の両地方にかなり多くの橋が存在していたが、震害を受けたのは鶴川橋 (落橋には至っていない) のみで、他の橋梁はほとんど無被害であった。このことは地震は同じでも、橋の地震による応答が橋によって異なること、および橋の耐震強度自身に差のあることから説明される。したがって、震度 IV の地震の強さの地域では耐震性の最も低い橋でも被害を受けないが、震度 V の地域では橋の震害が発生する。しかし、その地域に存在する全橋梁に対する被害橋の比率は小さく、被害程度もあまり大きなものでない。他の土木構造物についてもほぼ同様なことが結論されると思うが、構造物の種類、設計条件によって、その耐震性もおのずか

* 東京大学生産技術研究所第 5 部

ら異なり、ダムに比べると、水道管は低い地震の強さ、換言すれば震度階のより低い地域で震害の発生を見る。今回の地震においても水道施設は震度Ⅳの地域で被害が発生しはじめ、大被害は震度Ⅴの地域でかつ軟弱地盤中の水道管で起こっている。

以前は大地震が発生しても、地震計の感度がよすぎたため、ほとんどの大地震で記録が採れず、耐震工学の発展の障害になっていた。昭和 28 年に強震観測のための地震計が開発され、各種地盤、構造物上に設置され、その記録は耐震工学の研究に役立っている。今回の地震においても、八戸港の強震計（運輸省港湾技術研究所の所管）が地震波形をとらえ、震害の分析に利用されている。また測候所にも、1 倍の強震変位計が設置されていて、強震の特性の解明に有力な手段となっている。筆者が今回の地震に関連して、函館、秋田、室蘭、苫小牧の

四つの強震変位計の記録(図 2 参照)を収集したところ、秋田と苫小牧とが、また室蘭と函館が非常に類似した波形を示していることがわかった。

秋田と苫小牧の測候所は地盤の悪い所にあり、函館と室蘭はよい地盤の上にある。前二者の記録は振幅も後者に比し大きく、かつ主要動の継続時間が著しく相違していることは、図 2 より明らかであろう。また上下動についても、軟弱地盤上の変位が大きくでている。加速度記録は入手していないので、加速度振幅についてはつまびらかでない。泥炭地の地盤上で水平 175 gal が SMAC 型強震計で記録されている。このことは特殊な場合は軟弱地盤上でも加速度、変位ともに大きいことがあり得ることを示している。苫小牧とはアイヌ語で沼の後の場所という意味だそうで、測候所の記録は軟弱地盤上の地震波形の特性を示しているが、気象庁発表の震度階Ⅵとは

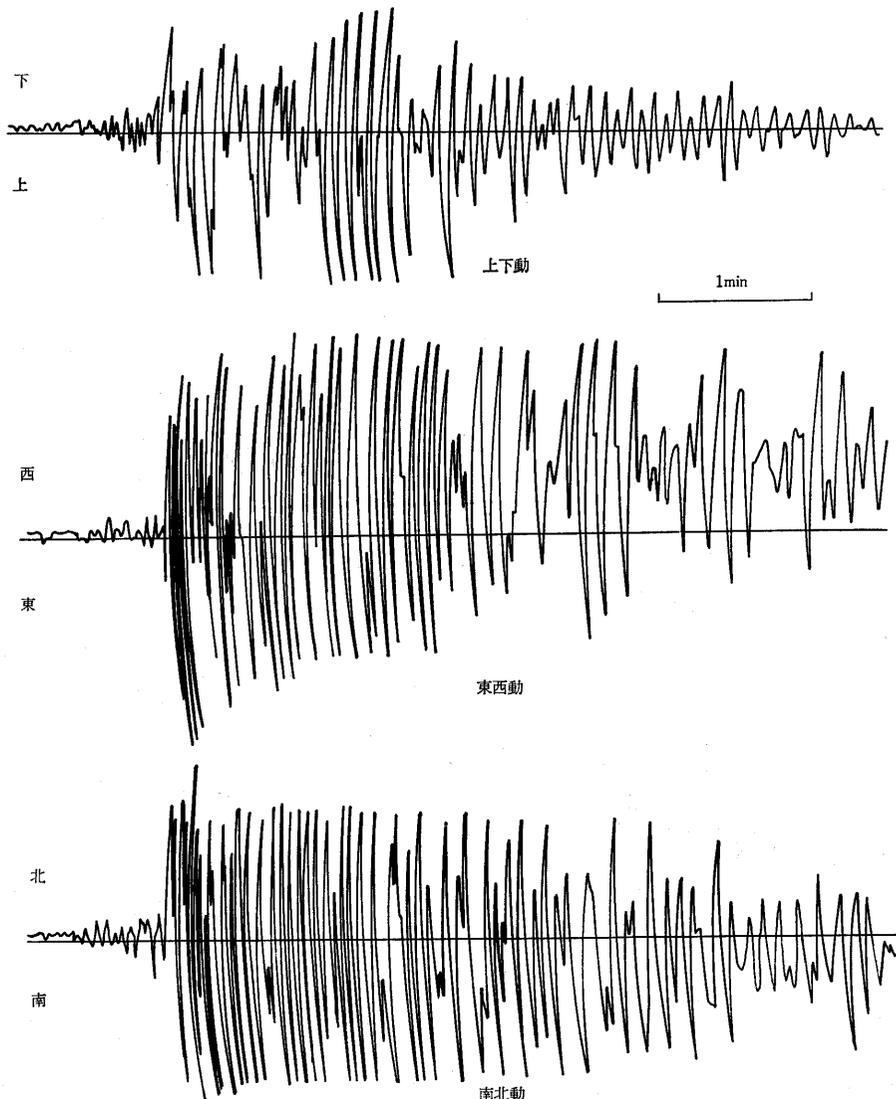


図 2 (a) 十勝沖地震記録 (苫小牧測候所)

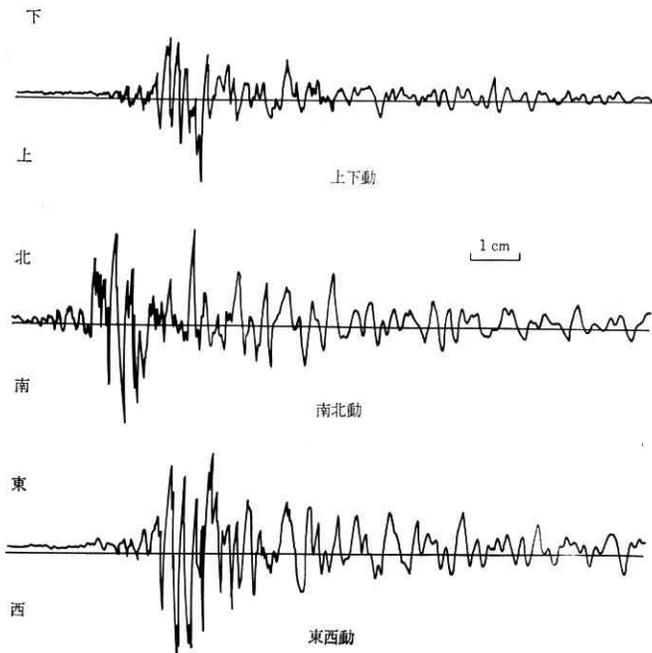


図 2 (b) 十勝沖地震記録 (室蘭測候所)

うらはらに、震害は軟弱地盤の割に僅少であった。

2. 橋梁の震害

北海道地方における橋梁の震害は全般的に軽微であり被害の最も大きかったのが鶴川橋 (国道 235 号線鶴川町地内) であった。この橋は支間 79.44 m のローゼ桁 2 連 (1 連当たりの全死荷重 = 563.7 t) と、支間 22 m の単純合成桁 8 連とよくなる全長 342.6 m の長大橋であり、室蘭方がローゼ桁、浦河方に単純合成桁が架設されていた。ローゼのヒンジ支点は浦河方にあり、それを支える橋脚は井筒基礎であり、室蘭方の橋台はローラー端となっていて、大きい水平力が作用しないと考えられたので、杭打のフーチング基礎であった。単純合成桁の部分の橋脚は木の群杭基礎であった。被害状況は次の四つに分類される。

- a) No. 2 橋脚上のコンクリートかぶりの破損
 - b) No. 1 橋脚上のローゼ桁同志の衝突
 - c) パラペットウォールの破損
 - d) ラテラル材の折損
- a) の被害は最も大きいもの

で、右岸 (室蘭方) から二つ目の橋脚上のローゼ桁のヒンジ支点のアンカーボルトは、桁が右岸よりに移動したために、写真 1 に示すごとくに抜け、かつ前面のコンクリートのかぶりを破壊してしまった。このために、2 連目のローゼ桁は 65 mm 右岸方へ動き 1 連目のローゼ桁を押すことになり、b) の被害が発生したものと思われる。c) の橋台のパラペットウォールの破損は橋桁が移動して橋台背面のコンクリート壁 (パラペットウォールと称す) を押すことによる場合と、橋台が背面の土に押され、橋台が前に移動し、そのため相対的には橋台が橋桁を押すことになり、パラペットウォールは逆に押されるために発生する場合とがある。今回の鶴川橋の右岸側橋台のパラペットウォールの震害は両者が同時に原因して生じたものと推定される。(写真 2 参照) このことは前述のごとくローゼ桁は右岸側に移動していること、および橋台自身は左岸方に傾斜していることから推論される。d) のラテラル材の折損は前例のない震害例である。一般のトラス構造の橋梁では橋門構と称してトラスの前面・後面の橋の出入口の部分、風または地震荷重のように橋軸直角に作用する水平荷重に抵抗するように橋軸に直角方向の断面は特殊な部材が使用されている。しかし鶴川橋のローゼ桁区間のように上弦が曲弦で、かつ下路橋になると、橋門構の構造が外観を美しく設計しようとする、簡易化したものとなりやすい。本橋の場合も上下流の 2 面の主構を連結する水平部材 (ラテラル材と称す) が地震に対して弱く、地震で振

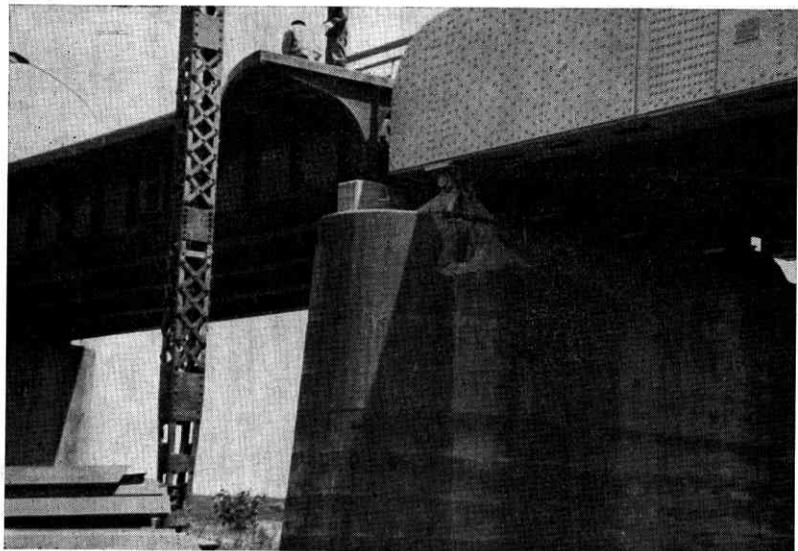


写真 1 2P. 上流側より撮影。橋座破壊。Tower は昭和 43 年度施行歩道橋架設用。人が乗っている Girder は歩道橋でローゼ桁部分は未架設

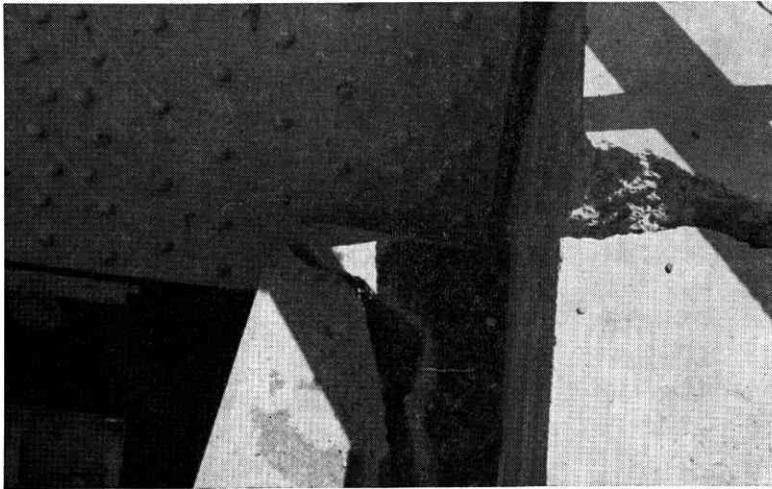


写真2 右岸橋台ローゼ桁パラペットに衝突、パラペット破壊（歩道橋用）旧橋台翼壁

動させられ、遂にラテラル材の折損、取付けリベットのゆるみを生じたものと考えられる。過去の地震においては橋梁の上部構造は橋の落下によるもの以外は震害が発生していなかったのであるが、今回珍しく、かつ今後の設計に重大な示唆を与える震害が発生した。

a) の震害はアンカーボルトの安全率は大き目にとることおよび、橋脚の天端は十分余裕をもって広くし、アンカーボルトを支えるアンカーボルト前面のコンクリートの被覆が十分厚くなっているように設計すべきことを教えている。最近設計されている橋は上述の配慮ができていのが多くなってきたが、設計者の中には橋脚の天端の断面が大きくなり、これが外観を壊すことをきらう人もいるが、断面を大きくしないのであるなら、十分な鉄筋をそう入し、アンカーボルトの水平抵抗力を十分増しておくことが必要であろう。

えびの地震においてもプレストレストドコンクリート橋の被害率が高かったが、そのうちのいくつかは橋脚の天端幅がせまく、したがって桁を支えている面積も小さく、桁の端部または橋脚の頂部でコンクリートの圧潰がみられた。落橋には至っていなかったが、わずかな天端幅の増加が震害を防ぐことになるのではないかと反省させられる事項である。

3. 港湾施設の震害

調査した港湾は函館、室蘭、苫小牧の3港であった。各地における地震の強さは、地盤の良否によって著しく影響を受けるので、被害箇所の地盤が地震時の振動を類推するのは、はなはだ難解な問題である。特に函館港の場合は測候所は地盤の硬い所にあり、港の被害を受けたところは特に地盤の軟弱な所であったので、推定が困難である。室蘭港の場合も同様な条件で、埋立地層の厚さが0mから14m位に変化しているし、埠頭によってもその地質条件を異にしている。ただ室蘭港の鉄鉱石専用埠頭の場合には、

被害状況の判明している比較的単純な構造物が埠頭の近くに存在していたので、この構造物の震害から地震を推定することにした。その構造物は高さ30m、径3.5m、重量110tの円筒状構造物で、 $\phi 37$ のボルト6本で基礎に固定してあった。ボルトは引抜かれているものもあり、破損に近い程度の大きい張力が作用したことが想像される。震度を0.2、0.3の2種類について、転倒モーメントに対するボルトの最大応力を静力学的に計算すると、 $\sigma = 3900 \sim 5800 \text{ kg/cm}^2$ となり、前述の被害状況を勘案すると、埠頭で0.2~0.3g位の地震力が作用していたのではないかと想像された。室蘭港の中程度の地盤でとれたSMAC型強震計の記録では最大加速度が南北203gal、東西143galであったので、地盤の条件を考



写真3 鋼管杭周辺の地割れ

慮すると上述の値はそれほど矛盾のない数値であろう。また埠頭先端においては砂の噴砂現象が現われていて、噴出された砂は八郎潟で噴出していると同じような、粒径の細かい、均質の少しく灰色がかかった砂であった。また大型のコンクリートブロックが水平にはげしく振動したと思われる、砂の揺れ込み跡が発見された。この砂の揺れ込み跡も八郎潟干拓地内の鋼管杭基礎の橋脚の杭の周囲にも見られたものである。写真3は八郎潟の御幸橋の鋼管杭の周囲のゆれ込み状況を示すものであり、同心円状のキ裂が3重に杭の周囲にあり、杭が地震時に激しく水平に振動させられたことを示している。推定の室蘭の埠頭の地震動の強さは、噴砂、揺れ込みなどの現象から考えてもそれほど大きい誤差のある値ではないと思われる。

苫小牧市の地震の強さは、王子製紙の土木課長の天野勲氏（第二工学部26年卒）の推定されたものを拝借することにする。王子製紙の苫小牧工場の事務所の玄関に3本の製紙用原木の丸太が展示してあって、そのうちの1本が転倒し、あとの2本は転倒しなかった。その丸太の寸法は表2のごとくである。

表 2

原木	材長	直径	地震後の状況
トド松	270cm	50cm	転倒
エゾ松	"	66cm	転倒せず
赤エゾ松	"	68cm	"

転倒したものについて水平震度を推定すると0.15となり、転倒しなかって丸太についての値は0.19および0.20となるので、苫小牧工場の震度は0.15~0.19と推定したものである。

函館港の震害は、矢板岸壁の西埠頭（-3.5m）は岸壁が少しく前方に傾斜、はらみ出したが、その量は少なかった。国鉄連絡船埠頭はケーソン基礎（-8.0m）の不等沈下および煉瓦造上屋の破壊が生じた。

室蘭港の鉄鉾石専用埠頭では矢板岸壁（-13.0m）、ケーソン岸壁（-9.0m）、コンクリート・ブロック岸壁（-7.0m）などがあつたが、前述の強さの地震で、矢板岸壁は前方に押出され、背後の地表面が陥没した。またケーソン岸壁も背後の土圧で前面に押出された。埋立地層が浅く、水深も浅くなるにつれて被害も軽くなっている。本輪西埠頭のケーソン基礎（-9.0m）は地盤も良好で沈下すべり出しは見られなかったが、埋立土が振動で締め固まり上屋の沈下が生じた。一般には岸壁がすべり出し背後の地表面が沈下するのが普通の震害である。埋立土が振動で締め固まった現象は、1956年9月30日の千葉県中部の地震で横浜港で建設中の岸壁の埋立砂が沈下した例などにも見られた。なお、1956年の地震の際の横浜港の地盤加速度は約80galであった。

苫小牧港は掘込み港湾で、函館、室蘭などの港湾と建

設方法が異なるので、その震害は注目される。特に掘込港湾が地震を経験するのが初めてである点と、今後新潟工業港、鹿島港などこの種の港湾が建設が盛んになる点から考え、貴重な経験例の一つとなった。

震害の主たるものは、矢板岸壁（-9.0m）の西埠頭と石油基地護岸とに発生した。前者の矢板はYS-2型で、-15mまで根入れがある。地震により、矢板の頭部を拘束しているタイロッドのアンカーが矢板の前傾（土圧によるもの）とともに引張られ、前方に移動した。この種の震害は新潟地震における酒田港の矢板岸壁（-4.5m）においても発生している。矢板の前傾の結果、背後の地表面は陥没し、上屋、床版に被害がでた。

石油基地護岸はタールマチック処理のした斜面（-3.0mの位置に小段がある）で、水深は-7.0mである。震害はその斜面ではなく、+1.5mのレベルに立つ1.5mのコンクリートブロックをふくむ護岸に起こり、0.6mの厚さの捨石とともに、円弧すべりを起こして倒壊した。被害額はそれほど大きいものではないが、他の護岸のこう配が1:2で、すべった部分のこう配が1:1.5で少しく急こう配であったので、この部分のみがすべったのであろう。地震時の斜面のすべり崩壊については、今回の十勝沖地震を契機に研究グループができて究明することになっている。

港湾の震害について、港湾荷役設備の近代化に伴う新たな問題として特に次のことが再考されなければならないと思う。近年港の荷役設備として、ジブクレーンを始めとし、各種のクレーンが設備され、荷役のスピードアップを行なっているが、これらの機械の基礎は一方は岸壁上に、他は埋立地に設置されているので、地震にともなう岸壁背後の沈下によってその機能を失う場合が多い。特に上述の3港湾においては、震害が軽度で、岸壁のすべり出しは少なく、大型船の接岸は可能な状態にあるにもかかわらず、クレーンの支持レールの間隔が広がり、レールに不陸が生じたりして、荷役に重大な支障をきたしていた。この点は沖荷役から接岸荷役へと進みつつある現今の状況からみて、港湾の耐震性を考える上に重要な問題であろう。

4. 水道施設

今回の地震による水道施設の被害はかなり広範囲に発生したが、ここでは北海道南部の施設について述べる。

埋設管は延長も長く、その間には曲線部、分岐部を含んでいて、管として複雑な運動をするであろうし、その上地盤の異なる所を通り、異なった地盤動で振動させられるなどのことにより、一般に震害を受けやすい施設である。

苫小牧近辺の工業用水道に管の脱け、浮上りなどの小被害が発生した。

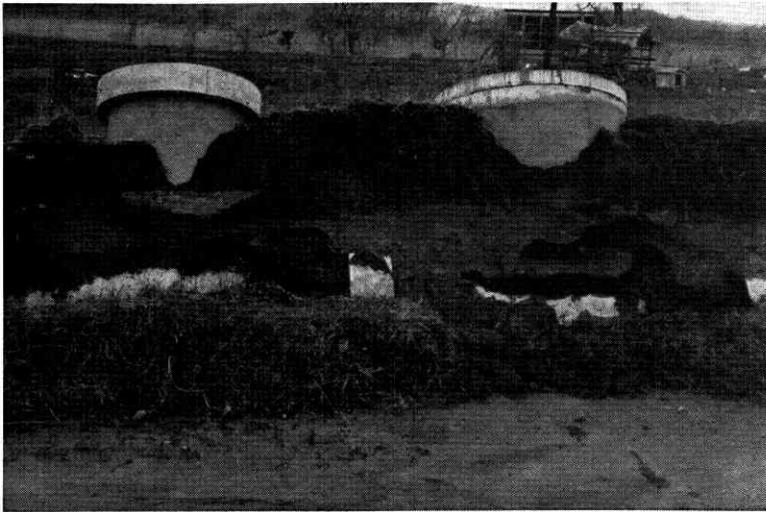


写真 4 送水管の浮上がり

苦小牧の地盤状況が良好でなかったことは先述のごとく測候所の記録からも明らかである。その現われの一つは道路のクラックに見られる。高い盛土区間ではなく、低い盛土の道路に縦キ裂が舗装面に出現した。地盤不良による地盤動の強さの激化と同時に、砂の流動化も原因になっていると考えられる。この道路に近く平行している $\phi 900$ のエタニット管も写真 4 に示すように継手の離脱のみでなく、管の浮上がりも起きている。

室蘭における水道管の震害は、埋立地の地盤の悪い所に発生し、特によい地盤と軟弱地盤とを貫通している水

道管は継手部分の破損、ゆるみ、管の折損などが発生した。室蘭地区工業用水道は登別町の幌別ダム（土石アイルタイプダム）の貯水池、全長約 11.2km の配水管（1日 100t の選水能力）と付帯設備とである。地震により一部漏水したほかは軽微な被害に止まった。なお幌別ダムについて付言すると、ダムの高さ 22.2m、堤頂の長さ 366m、底幅 104m で、1967年に完成したダムである。堤頂の沈下もなく、漏水の増加した傾向もなかった。

5. あとがき

各種の土木構造物についての震度と震害について、完全な調査には至っていないが、1968年十勝沖地震の震害を過去の震害例とを対比させながら説明した。先述のごとく、盛土斜面の崩壊については、研究室での研究、グループによる研究が積み重ねられてゆく予定である。筆をおくにあたって現地震害調査の折、お世話下さった北海道開発局室蘭建設部、富士製鉄株式会社、王子製紙株式会社の皆様には厚くお礼申上げる次第である。

(1968年10月5日受理)

次号予告(1月号)

巻頭言

所長を辞するに当たって.....菊 池 眞 一

研究解説

プラスチック上へのメッキ法.....松 永田 正 久
 萩生 田 善 明
 デジタル・システムの自動故障診断.....渡 辺 本 勝
 杉 本 正 勝
 実時間処理におけるデータ平滑の一方式.....浜 崎 豊 二
 ——二階常微分方程式に従う観測対象の実時間データ平滑——
 糊料に関する研究.....中 村 亦 夫

研究速報

微小パターン位置決め方式.....張 島 碧 雄
 大 山 口 康 次
 鈴 木 楠 雄
 核 正 俊
 斉 小 藤 正 成
 小 藤 文 健
 CO₂ レーザ用ダブルプリズム減衰器.....石 加 井 正 夫
 放射化トレーサ法によるアルミニウム合金中の不純物元素の腐食挙動に関する研究.....石 加 井 本 正 夫
 本 下 多 田 健 一
 Surface Conductivity of GaAs.....石 加 井 本 下 健 一
 結晶粒界転位と粒界すべり.....石 加 井 本 下 健 一

研究室紹介

大井研究室.....大 井 光 四 郎