

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

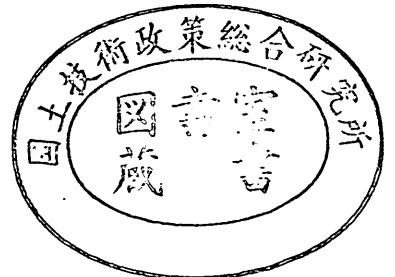
---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 30      NO. 2(1)    JUNE 1991

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P. H. R. I)

第30巻 第2号 (Vol. 30, No. 2) 1991年6月 (June, 1991)

## 目 次 (CONTENTS)

1. Investigation of Cross-shore Sediment Transport Rates and Flow Parameters  
in the Surf Zone using Field Data ..... Yoshiaki KURIYAMA ..... 13  
(現地データによる砕波帯内の岸沖漂砂量と流速特性の検討  
..... 栗山 善昭)
2. 避泊フェリーの係留張力と振れ回り運動に関する検討  
..... 平石 哲也・本城 智 ..... 59  
(Characteristics of the motion and tension of a ferry moored in a storm  
..... Tetsuya HIRAISHI and Satoshi HONJO)
3. 離散渦法による構造物周りの流れシミュレーション  
..... 細川 恭史・古川 恵太 ..... 155  
(Modeling of Discrete Vortices Induced by an Inclined Flat Plate  
Yasushi HOSOKAWA and Keita FURUKAWA)
4. プラスティックボードドレーンで改良された不均一地盤の沈下特性  
..... 田中 洋行・太田 一己・丸山 隆英 ..... 211  
(Performance of Vertical Drains for Soft and Ununiform Soils  
..... Hiroyuki TANAKA, Kazumi OHTA and Takahide MARUYAMA)
5. 杭の横抵抗における捨石層の評価  
..... 高橋 邦夫・壹岐 幸史 ..... 229  
(Lateral Resistance of a Pile in Rubble Mound  
..... Kunio TAKAHASHI and Yukifumi IKKI)
6. サンドドレーンの効果に関する有限要素解析  
..... 小林 正樹 ..... 275  
(Finite Element Analysis of the Effectiveness of Sand Drains  
..... Masaki KOBAYASHI)
7. 接円式深層混合処理地盤の挙動  
..... 北誥 昌樹・中村 健・寺師 昌明 ..... 305  
(Reliability of Clay Ground Improved by the Group Column Type DMM with  
High Replacement)  
..... Masaki KITAZUME, Takeshi NAKAMURA and Masaaki TERASHI)

8. 斜面近傍の杭頭自由の長杭の横抵抗	寺師 昌明・北誥 昌樹	327
(Influence of a slope on the Lateral Resistance of a Long Pile	Masaaki TERASHI and Masaki KITAZUME)	
9. 液状化による矢板岸壁の変形の数値解析	井合 進・亀岡 知弘	349
(Analysis of Deformation in Sheet Pile Quaywall due to Liquefaction	Susumu IAI and Tomohiro KAMEOKA)	
10. 盛土の地震被災事例に基づく円形すべり安定解析手法の検討	上部 達生・長田 信	381
(Circular Arc Analysis of Earthquake Damage of Embankments on Saturated Sand Layers	Tatsuo UWABE and Makoto OSADA)	
11. ねじりを受ける長大ケーソンの力学特性	清宮 理・山田 昌郎	445
(Mechanical Properties of Long Caisson Subjected to Torsion	Osamu KIYOMIYA and Masao YAMADA)	
12. 歩行式水中調査ロボットの開発		
— (第2報) 軽量防水型実験機の設計 —	朝倉 修・秋園 純一・岩崎 峯夫・根本 孝志	483
(Development on Aquatic Walking Robot for Underwater Inspection	— (Second Report) Design of the Light-weight Type Aquatic Walking Robot —	
Osamu ASAKURA, Jun-ichi AKIZONO, Mineo IWASAKI	and Takashi NEMOTO)	
13. 水平管における空気混入軟泥の流動特性	岡山 義邦・鮎貝 基和・鈴木 誠・福本 裕哉	533
(Fluidity Characteristics of Muddy Slurry with Compressed Air in	Horizontal Pipe	
Yoshikuni OKAYAMA, Motokazu AYUGAI, Makoto SUZUKI	and Hiroya FUKUMOTO)	

## 盛土の地震被災事例に基づく円形すべり 安定解析手法の検討

上部 達生\*  
長田 信\*\*

### 要 旨

関東地震から1983年日本海中部地震までの過去の大地震による盛土等の被災事例を734事例収集した。これらの事例の約半分が被災パターン①(法面の崩壊等が法肩に限られるもの)であり、被災程度Ⅰ(軽微な被害の程度)の事例が全事例の半分強であった。これらの被災事例から、円形すべり面法による安定解析のためのデータの整っている53事例(内無被災事例は4事例)を選定した。次に、被災地点の地盤応答解析を実施して、各地点の地盤加速度と基礎地盤の過剰間隙水圧を推定し、円形すべり面法による安定解析を実施した。この解析結果により、震度と過剰間隙水圧を考慮した円形すべり面法の安定計算により、飽和砂地盤上の盛土等の耐震性を検討できることが確認された。

キーワード：盛土，斜面安定，震度，過剰間隙水圧，円形すべり安定解析

---

\* 構造部 地震防災研究室長  
\*\* 構造部 地震防災研究室

## Circular Arc Analysis of Earthquake Damage of Embankments on Saturated Sand Layers

Tatsuo UWABE\*  
Makoto OSADA\*\*

### Synopsis

Data of embankments damaged by big earthquakes occurred from the Kanto earthquake to the 1983 Nihonkai-Chubu Earthquake were collected and reached the total of 734 sites. A failure mode of a half collected data was a top failure of slope, and a damage level of a half collected data was slight. Fifty three sites of the collected data that included 4 sites of no damage were selected for a circular arc analysis to investigate a dynamic stability of embankments. The circular arc analysis in consideration of seismic coefficient and excess pore pressure estimated by ground earthquake response calculations was conducted for these sites. According to this analysis it was concluded that the dynamic stability of the embankment on the saturated sand layers can be investigated by the circular arc analysis that considers the seismic coefficient and the excess pore pressures.

**Key Words** : embankment, slope stability, seismic coefficient, excess pore pressure, circular arc analysis

---

\* Chief of Earthquake Disaster Prevention Laboratory, Structural Engineering Division.  
\*\* Member of Earthquake Disaster Prevention Laboratory, Structural Engineering Division.

## 目 次

要 旨 .....	381
1. ま え が き .....	385
2. 盛土の地震被災事例 .....	385
2.1 収集した地震被災事例 .....	385
2.2 盛土の被災の分類 .....	386
3. 円形すべり安定解析の対象施設 .....	386
4. 地盤応答解析 .....	393
4.1 地盤の地震応答計算 .....	393
4.2 過剰間隙水圧の推定 .....	395
5. 円形すべり安定解析 .....	395
6. 円形すべり安定計算結果および考察 .....	395
6.1 円形すべり安定計算結果 .....	395
6.2 破壊震度と最大加速度の関係 .....	405
6.3 危険度と被災変形量の関係 .....	408
7. 結 論 .....	410
参 考 文 献 .....	412
記 号 表 .....	414
付録 盛土等の標準断面図, 被災断面図 .....	415

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

1. まえがき

港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>1)</sup>によれば、円形すべり面法による安定計算の常時の安全率は1.3と明記されているが、地震時に関しては記述がない。現行の港湾施設の設計では、通常、地震時における斜面の安定は検討されていない。これは、斜面の地震時の安定問題については不明な点が多く、解析方法の検討がまだ不十分であり、また、常時の安全率が1.3以上あれば、地震時にも安全であると言う経験的な判断によっているためである。こうした現状に対して、斜面の地震時の安定問題の合理的な検討方法を確立していくためには、地震時の斜面安定問題に関して各種の研究を積み重ねていく必要がある。

1968年十勝沖地震の際、東北本線の尻内駅と野辺地駅間で鉄道盛土が大きな被害を受けた。これを契機として、鉄道盛土の地震時挙動の解析が本格的に開始され<sup>2, 3)</sup>、地盤が砂地盤である場合には、地盤内の過剰間隙水圧の発生が盛土の崩壊に大きな影響を与える事が認識されるようになった。港湾および海岸施設は、地盤の残留水位が高いため、飽和砂地盤内の過剰間隙水圧の発生に関する検討は重要な課題である。

海岸堤防に関する過去の研究成果としては、砂あるいは砂質粘土で作られた実物大の堤体に関する振動実験に基づく円形すべり面法による安定計算の検討結果がある<sup>4, 5)</sup>。また、飽和砂地盤上の盛土の地震時安定については、盛土の実物大模型の破壊振動実験に基づく円形すべり安定解析の検討結果がある<sup>6)</sup>。この検討結果では、

震度と過剰間隙水圧を考慮した円形すべり面法の安定計算により、実験の盛土の破壊が説明できる事が確認されている。

本報告では、上記破壊振動実験の検討結果を踏まえて、過去の盛土等の地震被災事例について円形すべり面法による安定解析を行い、円形すべり面法による安定解析手法の妥当性を検討する。図-1に本報告の検討の流れを示す。本研究ではまず、盛土等の地震被災事例を収集した。次に、盛土の基礎地盤に関して地震応答計算を実施し、最大加速度と地盤内の過剰間隙水圧を推定した。さらに、得られた盛土等の断面について設計震度をいくつか変えた円形すべり安定計算を実施し、安全率が1となる震度（破壊震度）を求めた。最後に、破壊震度と最大加速度の関係を検討し、円形すべり安定計算手法の妥当性の検討を実施した。

2. 盛土の地震被災事例

2.1 収集した地震被災事例

これまでに刊行されている被害報告書等<sup>7-10)</sup>により、盛土等の地震被災事例を収集した。対象とした地震は、表-1に示すように関東地震から1983年日本海中部地震までの14地震である。主な調査項目は下記の通りである。

- ① 地震名
- ② マグニチュード
- ③ 施設名
- ④ 地表最大加速度
- ⑤ 震度

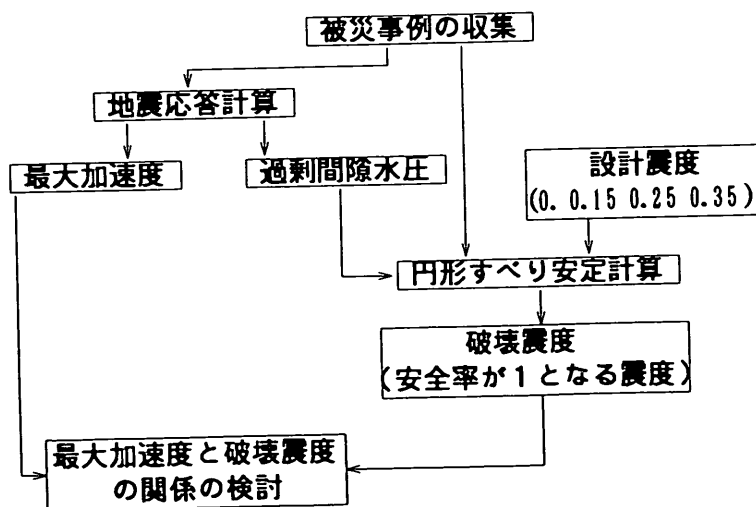


図-1 検討のフロー図

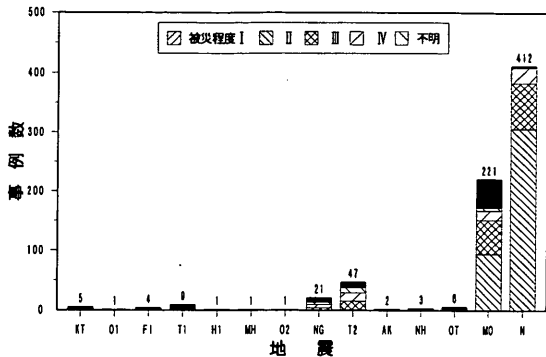


図-2 収集した被災程度別の被災事例

表-1 調査対象の地震

記号	地震名
KT	関東大地震（1923年9月1日）
OI	男鹿半島地震（1939年4月1日）
F1	福井地震（1948年6月28日）
T1	十勝沖地震（1952年3月4日）
H1	日向灘地震（1961年2月27日）
MH	宮城県北部地震（1964年4月30日）
O2	男鹿半島地震（1964年5月7日）
NG	新潟地震（1964年6月16日）
T2	1968年十勝沖地震（1968年5月16日）
AK	秋田県南東部地震（1970年10月16日）
NH	根室半島沖地震（1973年6月17日）
OT	大分地震（1975年4月21日）
MO	宮城県沖地震（1978年6月12日）
N	日本海中部地震（1983年5月26日）

- ⑥ 盛土種類：河川盛土，鉄道盛土，溜池盛土，干拓盛土，道路盛土等
- ⑦ 盛土形状：盛土材料，盛土高さ，天端幅，平均勾配，その他
- ⑧ 地形条件：微地形，小地形，表層地質
- ⑨ 地盤条件：沖積厚層，土質構成，N値，その他
- ⑩ 老朽度：完成年，経過年
- ⑪ 被災状況：被災パターン，被災程度，残留変位，その他
- ⑫ 復旧状況：復旧内容，復旧金額

収集した盛土等の地震被災事例の総数は734事例である。図-2には各地震毎の被災事例を被災程度を区別し

て示す。図中の横軸の記号が各地震を示しており，記号の意味は表-1に示すとおりである。図-2に示すように収集した地震被災事例は，1983年日本海中部地震と宮城県沖地震によるものがほとんどを占める。図中の被災程度については後述する。

### 2.2 盛土の被災の分類

盛土の被災の分類を，被災形態（被災パターン）と被災程度で行った。被災パターンは過去の研究成果<sup>2, 3, 19)</sup>より，図-3に示すように分類した。図-4には，収集した被災事例を図-3に従って分類した結果を示す。図-4によれば，収集した被災事例のほとんどは被災パターンが①である事が分かる。

被災程度は，表-2に示す基準に従って分類した。被災変形量が不明で表-2により明確に判定できない場合は表-3に示す基準に従って示した。なお，ここで言う被災変形量は亀裂幅，段差量，沈下量，部分沈下量である。表-2は著者の一人が以前に実施した盛土等の地震被災事例調査の際に，被災事例に基づいて定義したものである。表-3の基準は港湾構造物の地震被害調査で用いられているものと同じものである。収集した地震被災事例を表-2, 3により分類した結果を図-5に示す。図-5に示すように収集した被災事例のほとんどは被災程度がIである。

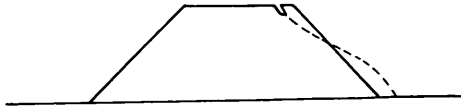
図-6には被災パターンと被災変形量の関係を示す。図-6では必ずしも明確ではないが，被災パターン①の被災変形量は他のパターンのものより小さい傾向がある事が分かる。図-7には被災程度と被災変形量の関係を示す。図-7によれば被災程度の増加につれて，亀裂幅，段差量は大きくなっているが，沈下量については，被災程度II以上での被災程度の増加による被災変形量の増大が明確でない。

### 3. 円形すべり安定解析の対象施設

収集した盛土等の地震被災事例から円形すべり安定解析のための地震被災事例を選定した。標準断面図，被災断面図，基礎地盤の土質柱状図等の安定計算のためのデータのある事例の数は非常に限られたものとなった。解析対象とした盛土等の施設は表-4に示すように53事例である。付録にこれらの施設の標準断面図，被災状況図を示す。53事例の内，4事例は無被災事例である。こうした被災事例解析を実施する場合は，なるべく多くの無被災事例もある事が望ましいが，通常無被災事例については標準断面図等のデータがほとんどなく，今回の検討においても無被災事例の数は非常に限られたものとなった。



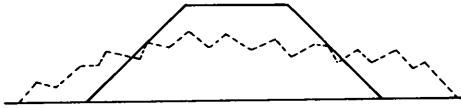
盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討



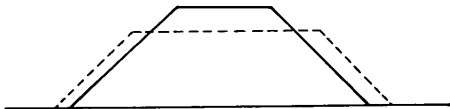
① 法面の流出、崩壊又は亀裂段差の発生が盛土天端の中央部（道路盛土にあっては道路車線に）まで及ばず、法肩に限られるもの。



② 堤体のすべり崩壊又は亀裂段差の発生が盛土天端の中央部（道路盛土にあっては道路車線に）まで及ぶもの。



③ 破壊が基礎地盤に及び堤体形状が原形を留めないもの。



④ 堤体の一様な沈下に伴って、堤体形状をある程度保ちつつ変形したもの。

図 - 3 被災パターンの分類

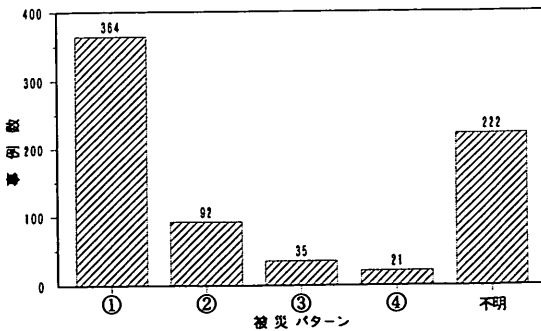


図 - 4 被災事例の被災パターン

図-8には安定解析の対象とした事例の盛土の種類を示す。河川盛土が最も多く、次に溜池盛土が多いのが分かる。図-9には安定解析の対象とした盛土の高さを分類した結果を示す。この図によれば、盛土の高さが4～6mの事例がほとんどである事が分かる。図-10には盛土の勾配を分類した結果を示す。盛土勾配が1:2の事例が約6割を占めている。図-11は盛土の基礎地盤の種類を示したものである。ほとんどの地盤が砂と粘性土の互層である。図-12には盛土の被災程度を分類した結果を示す。無被災事例が4事例、被災程度がIの事例が7事例、被災程度がIIとIIIの事例が合わせて42事例であり、被災程度がIVの事例は含まれていない。図-13には盛土の被災パターンの分類結果を示す。被災パターン②の事例がやや多いが、各被災パターンともほぼ同じ数となっている。

表-2 被災程度 A

被災程度	被災パターン	亀裂巾 (cm)	段差量 (cm)	沈下量 (cm)	部分沈下 (cm)	備 考
I	①	15未満	20未満			本体に異常はないが付属構造物に破壊や変状が認められるもの
	④			50未満		
II	①	15以上				本体にかなり変状の生じたもの
			20以上			
					100以上	
	②	30未満				
			50未満			
④			50以上			
III	②	30以上		50以上		形はとどめているが構造物に破壊が生じたものと認められるもの
IV	③					全壊して形をとどめていないもの

表-3 被災程度 B

被災程度	被災の状況
0	無被災
I	本体に異常はないが、付属構造物に破壊や変状が認められるもの
II	本体にかなり変状の起こったもの
III	形はとどめているが、構造物に破壊が起こったものと認められるもの
IV	全壊して形をとどめていないもの。

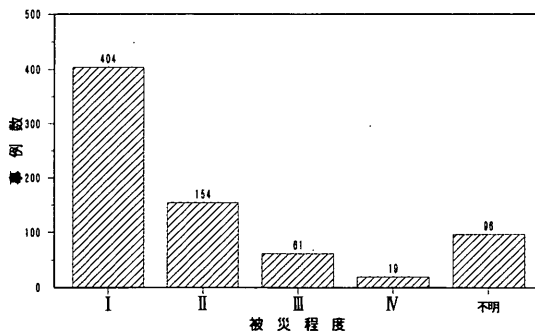


図-5 被災事例の被災程度

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

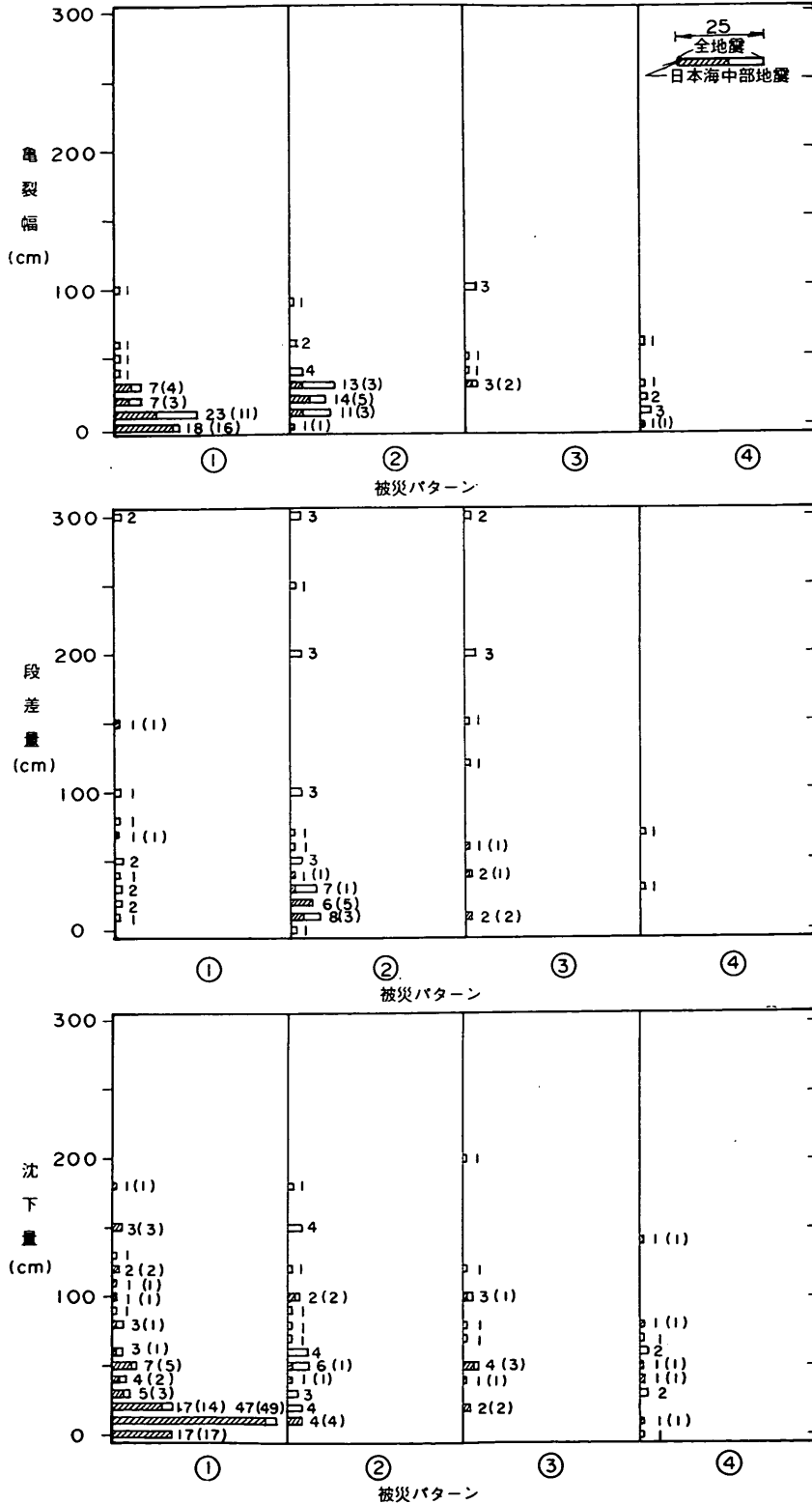


図-6 被災パターンと被災変形量

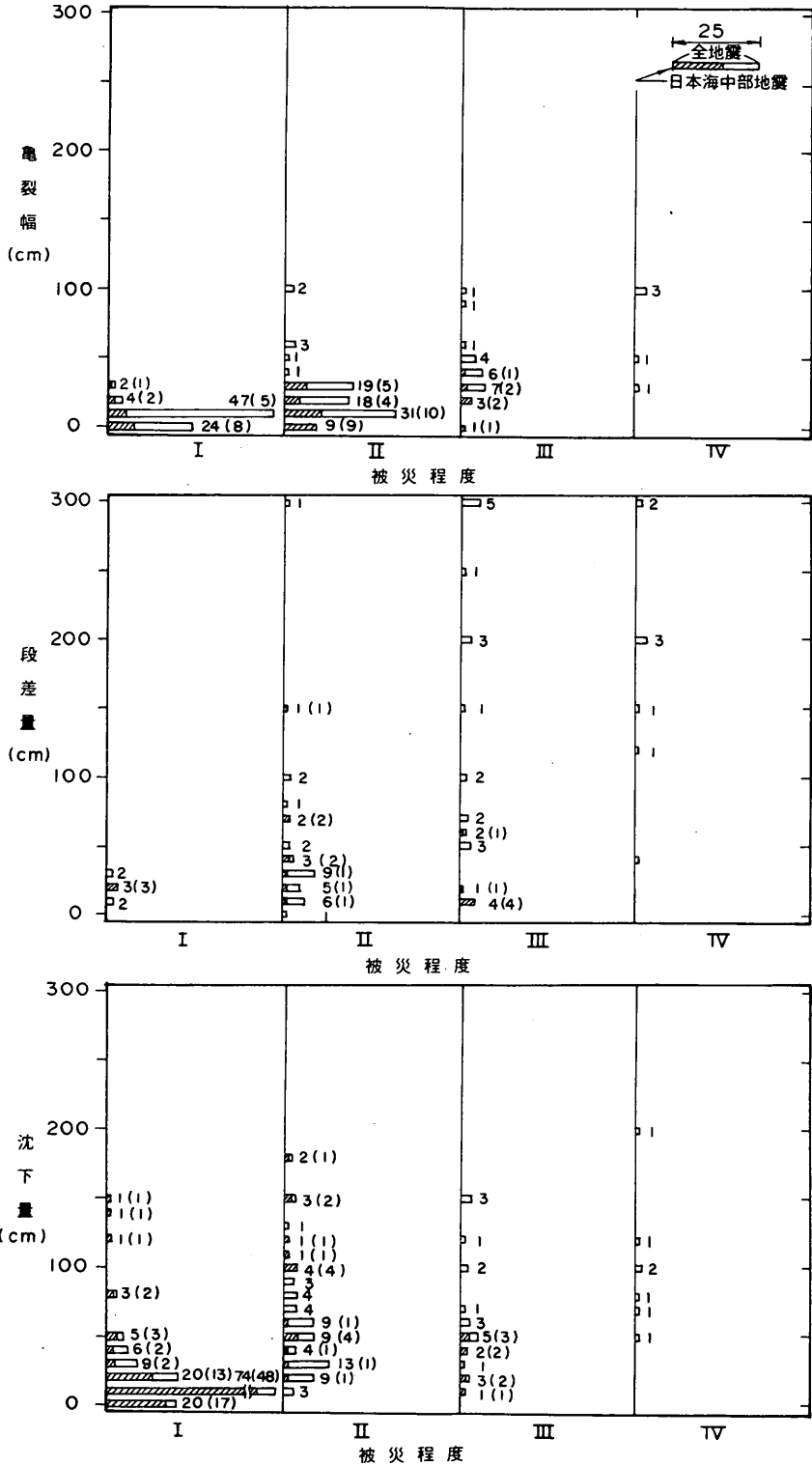


図-7 被災程度と被災変形量

表-4 円形すべり安定計算の対象施設

番号	地震名	整理番号	港湾, 河川名	地区名	施設名	
1	宮城県沖地震	M78-M-D	石巻港	西浜海岸	西浜海岸防潮堤	
2	"	"	関上漁港		-0.5m物揚場①	
3	"	"	"		船揚場	
4	"	"	阿武隈川下流	寺島堤防地区		
5	"	"	名取川	関上上堤防地区		
6	"	"	"	種次第一堤防地区		
7	"	"	"	今泉	今泉第二堤防	
8	"	"	鳴瀬川	浜市堤防地区		
9	"	"	"	山崎堤防		
10	"	"	"	志田谷地堤防地区		
11	"	"	"	袋堤防地区		
12	"	"	北上川下流	釜谷堤防地区		
13	"	"	"	橋浦堤防地区		
14	"	"	"	東名海岸堤防		
15	新潟地震	N-65-M-D	大山川	広岡新田		
16	"	"	阿賀野川	下山地区		
17	"	"	"	新松浜橋		
18	"	N-65-M-S	最上川	砂越地区		*
19	"	"	"	新渡地区		*
20	日本海中部地震	N83-M-D	岩木川	車力築堤	富范第一築堤	
21	"	"	"	"	豊富築堤	
22	"	"	"	"	下繁田築堤	
23	"	"	来代川	中川原地区	中川原築堤	
24	"	"	雄物川	割山地区	牛島堤防	
25	"	"	"	"	鹿野戸堤防	
26	"	"	"	秋田県能代市	一の沢	
27	"	"	"	秋田県若美町	鶴の木1号	
28	"	"	"	"	鶴の木3号	
29	"	"	"	青森県木造町	勘助	
30	"	"	"	車力村	カスベ	
31	"	"	"	三沢市	山中	
32	"	"	"	秋田県琴丘町	泉沢	
33	"	"	"	秋田県若美町	上の頭	
34	"	"	"	秋田県琴丘町	竹の林	
35	"	"	"	秋田県合川町	下杉2号	
36	"	"	"	秋田県琴丘町	牡丹	
37	"	"	"	秋田県男鹿町	挟間田	
38	"	"	"	秋田県合川町	上杉3号	
39	"	"	能代南BP	青森県森田村	小戸六	
40	"	"	"	浅内字出戸谷地	325km340	
41	"	"	奥羽本線	浅内字赤沼	326km530	
42	"	"	"	鯉川・鹿渡	334km	
43	"	"	"	森岳北金岡	347km	
44	"	"	"	南能代構内	352km	
45	"	"	"	大釈迦鶴ヶ坂	471km	
46	"	"	五能線	鯉ヶ沢鳴沢	104km	
47	"	"	八郎潟干拓	秋田県大潟村	正面堤防	
48	"	"	"	"	東部承水路堤防	
49	"	"	"	"	"	
50	"	"	"	"	西部承水路堤防	
51	"	"	船川港	金川地区	金川護岸②	
52	"	N83-M-S	"	"	埋立護岸D <sub>1</sub>	*
53	"	"	本荘港	田尻地区	階段護岸	*

\* 無被災施設

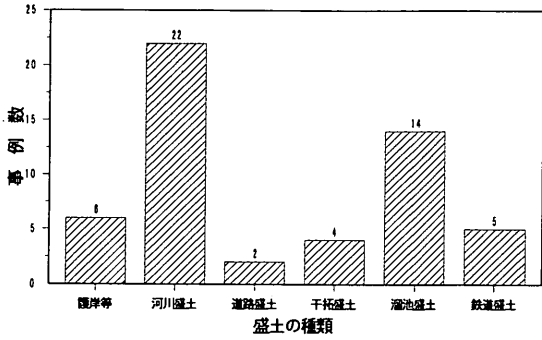


図-8 盛土の種類

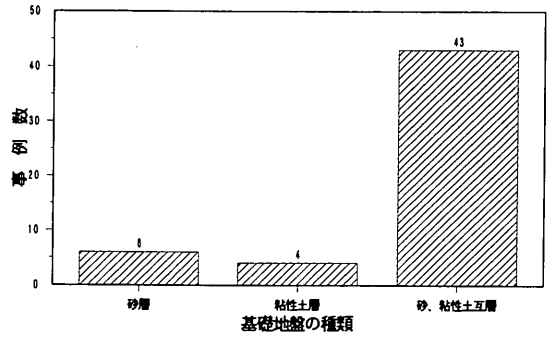


図-11 盛土の基礎地盤の種類

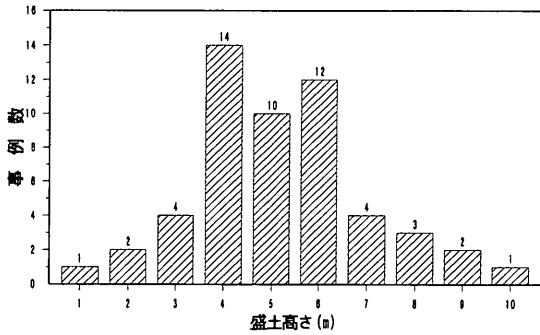


図-9 盛土の高さ

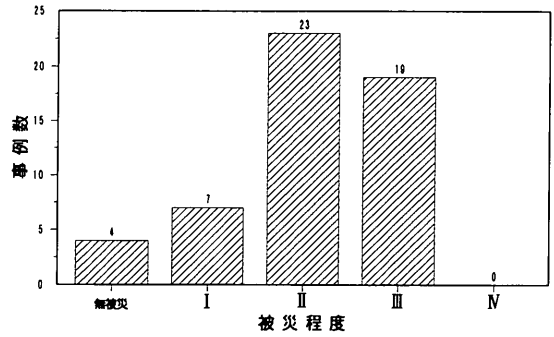


図-12 盛土の被災程度

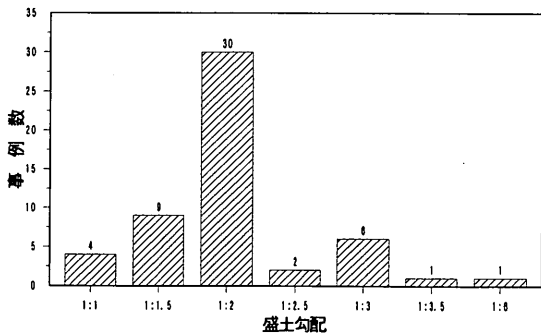


図-10 盛土の勾配

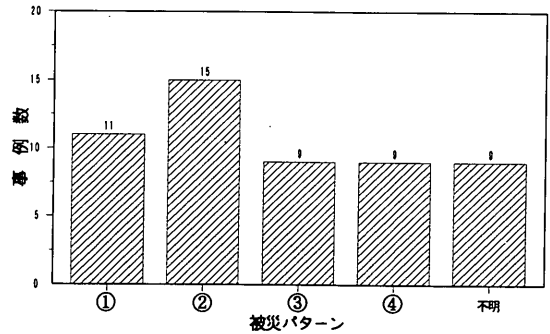


図-13 盛土の被災パターン

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

4. 地盤応答解析

4.1 地盤の地震応答計算

地盤の地震応答計算は、等価線形モデルの一次元地震応答計算プログラムであるSHAKE<sup>28)</sup>を用いた。地震応答計算の入力となる基盤の地震動の波形として、地点番号1～19では宮城県沖地震の際に大船渡港の岩盤上で得られた強震記録(S-1210E41S)<sup>29)</sup>を、地点番号20以降では日本海中部地震の際に秋田港で得られた強震記録(S-1567EW)<sup>30)</sup>を基盤上に戻した波形を用いた。これらの波形を図-14、15に示す。基盤の地震動の最大加速度は、宮城県沖地震については次式<sup>31)</sup>より求め、その他の地震では図-16に示す関係<sup>32)</sup>より求めた。

$$\log_{10} a = 3.159 + 0.234 M - 1.478 \log_{10} R \quad (1)$$

ここに、 $a$  : 基盤最大加速度 (Gal)

$M$  : マグニチュード

$R$  : 断層面距離 (km)

こうして得られた各地点の基盤最大加速度の値を表-5に示す。

各地点の地盤モデルは盛土部分および盛土の無い部分の2箇所で作成したが、盛土の左右で大きく形状が異なる断面では盛土の左右の位置と盛土部分の3箇所で作成した。地震時の水位は被害調査報告書に記載されているものはその値を、そうでないものは被災断面図、既存の土質柱状図等より推定した。土の単位体積重量は表-6の様に設定した。

以上の条件で計算した結果を表-7に示す。表中の増幅度は地表加速度を基盤位置の加速度(E+F)で除したものである。表に示すEは基盤位置の入射波、Fは

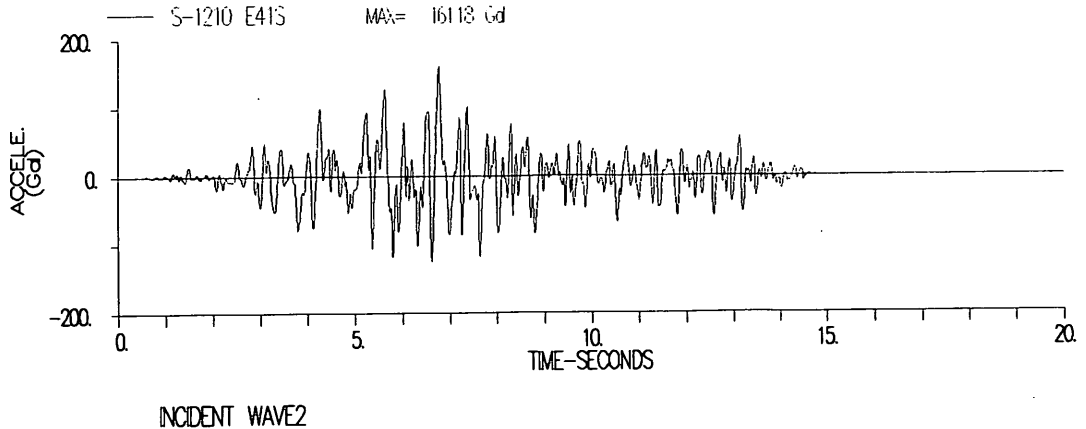


図-14 入力波形(S-1210E41S)

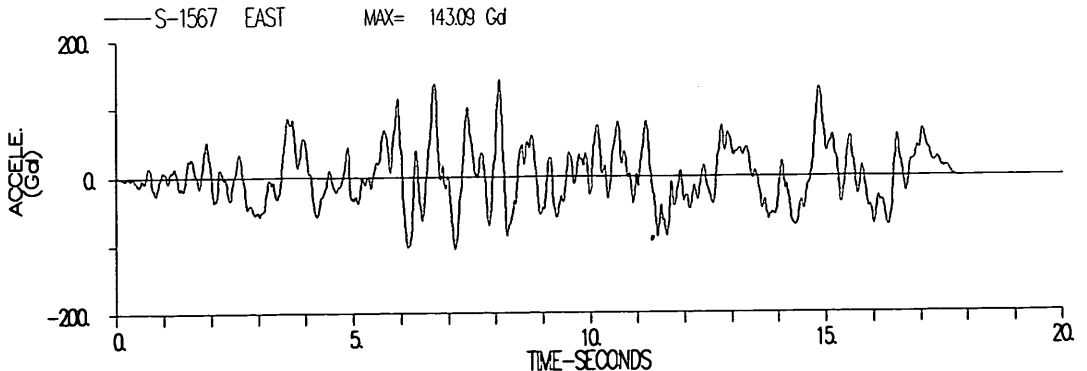


図-15 入力波形(S-1567EW)

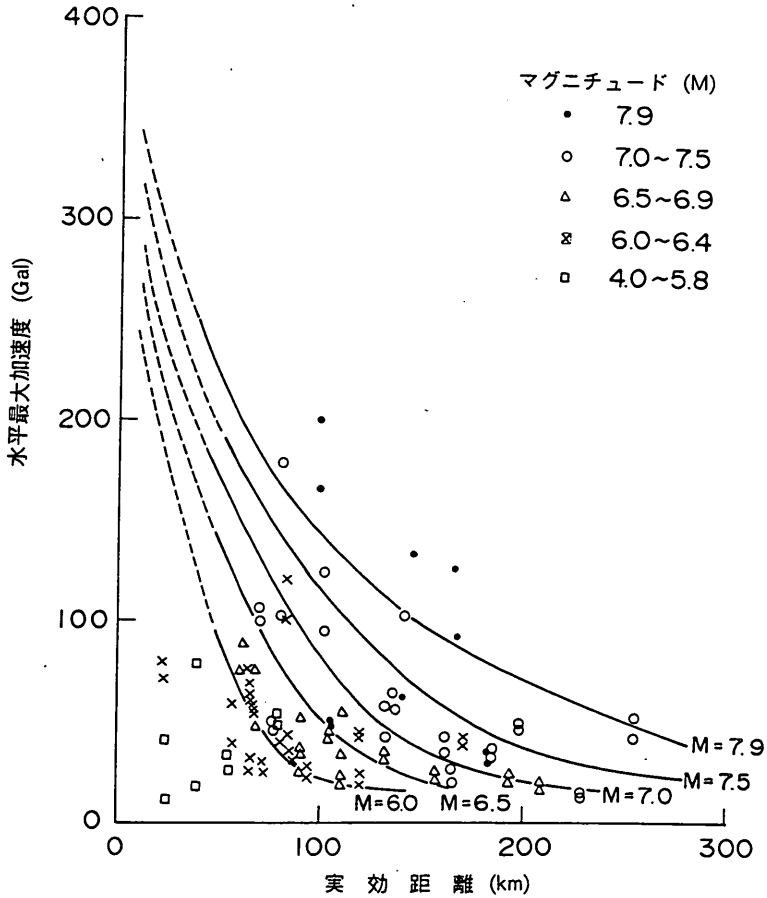


図-16 基盤加速度とマグニチュード、実効距離の関係

表 - 5 基盤最大加速度

地点No.	加速度 (Gal)	地点No.	加速度 (Gal)	地点No.	加速度 (Gal)
1	192	21	162	41	181
2	135	22	161	42	179
3	134	23	158	43	179
4	123	24	134	44	211
5	135	25	129	45	133
6	134	26	174	46	180
7	131	27	181	47	170
8	112	28	181	48	164
9	148	29	176	49	178
10	150	30	166	50	181
11	138	31	77	51	178
12	215	32	168	52	178
13	213	33	179	53	116
14	168	34	168		
15	228	35	166		
16	233	36	168		
17	233	37	183		
18	225	38	147		
19	214	39	173		
20	162	40	181		



盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

表-6 土の単位体積重量

土の種類	単位体積重量 (tf/m <sup>3</sup> )
砂(湿潤状態)	1.8
砂(湿潤飽和状態)	2.0
シルト, 粘土	1.6

反射波である。表に示す作用震度は6.で述べる。

4.2 過剰間隙水圧の推定

盛土の基礎地盤の地震時の過剰間隙水圧は、石原<sup>32)</sup>による残留間隙水圧法により推定した。この方法の詳細は「港湾・海岸施設耐震性調査手法」<sup>33)</sup>に記述されている。地盤の地震応答解析により算定した最大せん断応力と有効上載圧との比(応力比)を求め、この値から応力比と残留間隙水圧比の関係を示す図より残留間隙水圧を求めた。このとき必要な土の相対密度は次式より算定した。

$$D_r = 21 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} \quad (2)$$

ここに、 $D_r$  : 相対密度(%)

$N$  :  $N$ 値

$\sigma'_v$  : 有効上載圧(kgf/cm<sup>2</sup>)

5. 円形すべり安定解析

ここで用いた円形すべり面法による安定解析は港湾施設的设计で用いられているチェボタリオフの方法によった。この方法は内外で広く利用されており、わが国の港湾地域における被災例解析からも、通常の場合、斜面崩壊の実情をよく説明するとされている<sup>1)</sup>。この報告での地震時の円形すべり面の安定計算は、この文献の方法を修正して震度および飽和砂地盤の過剰間隙水圧の上昇によるせん断強度の減少を考慮して行った。過剰間隙水圧は摩擦力の抵抗モーメントの項の分割片の有効重量のかわりに( $w' - u \cos \beta l$ )を代入して評価した。ここに、 $w'$ は分割片の有効重量、 $u$ は過剰間隙水圧、 $\beta$ は分割片底面の傾度、 $l$ は分割片の底辺長である。

計算で用いる地盤定数(内部摩擦角: $\phi$ 、粘着力: $c$ )は、土質柱状図および $N$ 値より以下の式から求めた。

$$\text{ダナムの式} \quad \phi = \sqrt{12N} + 20 \quad (3)$$

$$\text{大崎の式} \quad q_u = 0.4 + \frac{N}{20} \quad (4)$$

$$c = \frac{q_u}{2} \quad (5)$$

ここに、 $\phi$  : 内部摩擦角

$N$  :  $N$ 値

$q_u$  : 一軸圧縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

$c$  : 粘着力(kgf/cm<sup>2</sup>)

本検討では上記の式より地盤定数を求めたが、堤防等の砂地盤にはシルト分が含まれている事を考慮して盛土の地盤定数には0.5tf/m<sup>2</sup>の粘着力を付加した。基礎地盤の間隙水圧は盛土のない部分とある部分とに分けて与えた。両者の境界は盛土斜面の中央とした。また、盛土部分の過剰間隙水圧は盛土高さの半分の上載圧より計算した。さらに、土質柱状図で示されている「~混じり砂」は砂として取り扱い、「~質砂」は砂の過剰間隙水圧の半分の値を与えた。

円形すべりの安定計算で与える地盤部分の震度は盛土高さと同じ深さまでとし、それ以深は0とした。これは、与える震度を深さ方向に一定で地表と同じ値とした安定解析を実施すると、非常に深い点を通過点とするすべり面が発生し、その安全率が極端に小さくなり、非現実的であると判断したためである。安全率が1となる震度(破壊震度)を求めるために、計算は震度を0, 0.15, 0.25, 0.35と変えて行った。

6. 円形すべり安定計算結果および考察

6.1 円形すべり安定計算結果

地震による盛土等の被災の原因は必ずしも一つの要因だけとは限らず、様々の要因が重なって発生すると考えられる。ここで収集した被災事例も地形の影響等を大きく受けて被災している例が含まれている可能性がある事も考えられる。しかし、過去に実施した飽和砂地盤上の盛土の実物大モデルの破壊振動実験では盛土内に明確なすべり面が確認されているので、本報告では収集した盛土の被災事例は円形すべり破壊による被災が主因と考え、対象とした事例全てについて円形すべり安定解析を行う事とした。

図-17~28に円形すべり安定計算結果を示す。図中、縦軸は安全率、横軸は震度である。左右両斜面についての計算結果を示している。過剰間隙水圧を0とした場合についても計算を実施したが、この場合の安全率は過剰間隙水圧を考慮したものより大きい値を示した。この過剰間隙水圧を0とした場合の例を図-29に示す。これらの計算結果より安全率が1となる破壊震度を求めた。その結果を表-8に示す。表-8において、破壊震度が示されていない地点は常時においてすでに安全率が1以下となったものである。

表-7 地盤の地震応答計算結果(その1)

番号	地震名	整理番号	港名 湾川名 名名	地区名	施設名	地点	基盤 加速度 ※(Gal)	地表 加速度 (Gal)	増幅度	作用震度	最大歪 (%)	備考
1		M78-M-D	石巻港	西浜海岸	西浜海岸防補堤	盛土部	192.0 136.5	173.5	1.27	0.18	0.27	護岸等
1		"	"	"	"	前面部	192.0 142.5	176.7	1.24	0.18	0.22	"
2	宮	"	岡上漁港		-0.5m物揚場①	盛土部	135.0 87.7	167.7	1.91	0.17	0.07	"
2		"	"		"	前面部	135.0 112.3	140.1	1.25	0.14	0.03	"
3	城	"	"		船場揚	盛土部	134.0 82.8	133.4	1.61	0.14	0.07	"
3		"	"		"	前面部	134.0 104.8	117.5	1.12	0.12	0.07	"
4	県	"	阿武隈川下流	寺島堤防地区		盛土部	123.0 84.2	115.8	1.38	0.12	0.10	河川盛土
4		"	"	"		前面部	123.0 74.9	118.4	1.58	0.12	0.07	"
5	沖	"	名取川	岡上上堤防地区		盛土部	135.0 122.8	127.3	1.04	0.13	0.20	"
5		"	"	"		前面部	135.0 99.2	235.0	2.34	0.24	0.16	"
6	地	"	"	種次第一堤防地区		盛土部	134.0 96.6	178.4	1.85	0.18	0.08	"
6		"	"	"		前面部	134.0 106.8	169.2	1.58	0.17	0.02	"
7	震	"	"	今泉	今泉第二堤防	盛土部	132.0 98.7	167.4	1.70	0.17	0.07	"
7		"	"	"	"	前面部 左側	132.0 88.8	215.7	2.43	0.22	0.05	"
7		"	"	"	"	前面部 右側	132.0 81.3	201.7	2.48	0.21	0.04	"

※上段は2E, 下段はE+F

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

表 1-7 地盤の地震応答計算結果 ( その 2 )

番号	地震名	整理番号	港 河 路	湾 川 線	名 名 名	地 区 名	施 設 名	地 点	基 盤 加 速 度 ※ (Gal)	地 表 加 速 度 (Gal)	増 幅 度	作 用 震 度	最 大 歪 率 (%)	備 考
8		M78-M-D	鳴	瀬	川	浜市堤防地区		盛土部	172.0 140.7	168.1	1.22	0.17	0.08	河川盛土
8		"	"	"	"	"		前面部	172.0 115.3	182.5	1.58	0.19	0.09	"
9		"	"	"	"	山崎堤防		盛土部	148.0 127.8	152.1	1.19	0.16	0.15	"
9		"	"	"	"	"		前面部	148.0 148.2	194.2	1.31	0.20	0.14	"
10		"	"	"	"	志田谷地堤防地区		盛土部	150.0 100.4	151.4	1.54	0.15	0.14	"
10		"	"	"	"	"		前面部	150.0 112.1	170.1	1.52	0.17	0.09	"
11		"	"	"	"	袋堤防地区		盛土部	138.0 129.9	146.6	1.13	0.15	0.08	"
11		"	"	"	"	"		前面部 左側	138.0 131.0	177.2	1.35	0.18	0.07	"
11		"	"	"	"	"		前面部 右側	138.0 104.3	202.8	1.94	0.20	0.07	"
12		"	北上川下流			釜谷堤防地区		盛土部	215.0 172.0	187.0	1.09	0.19	0.29	"
12		"	"	"	"	"		前面部 左側	215.0 193.0	141.8	0.73	0.14	0.30	"
12		"	"	"	"	"		前面部 右側	215.0 183.9	174.5	0.95	0.18	0.34	"
13		"	"	"	"	橋浦堤防地区		盛土部	213.0 163.1	219.9	1.35	0.20	0.22	"
13		"	"	"	"	"		前面部 左側	213.0 194.9	207.8	1.07	0.20	0.19	"
13		"	"	"	"	"		前面部 右側	213.0 181.9	199.4	1.10	0.20	0.18	"

※上段は2E, 下段はE+F

表一七 地盤の地震応答計算結果（その3）

番号	地震名	整理番号	港川線 河路	名川 名川	地区名	施設名	地点	基礎 加速度 ※(Gal)	地表 加速度 (Gal)	増幅度	作用震度	最大歪 (%)	備考
14	宮城県沖	M78-M-D			東名海岸堤防		盛土部	168.0 144.6	110.6	0.76	0.11	0.31	河川盛土
14		"			"		前面部	168.0 141.4	134.8	0.95	0.14	0.33	"
15	新	N65-M-D	大山川	川	広岡新田		盛土部	228.0 170.7	213.5	1.25	0.20	0.24	"
15		"		"	"		前面部	228.0 209.1	248.4	1.19	0.21	0.18	"
16	潟	"	阿賀野川	川	下山地区		盛土部	233.0 207.4	241.3	1.16	0.21	0.12	"
16		"		"	"		前面部 左側	233.0 171.9	352.3	2.05	0.24	0.11	"
16	地	"	"	"	"		前面部 右側	233.0 164.3	355.4	2.16	0.24	0.10	"
17		"		"	新松浜橋		盛土部	233.0 139.1	156.9	1.13	0.16	0.33	"
17	震	"	"	"	"		前面部 左側	233.0 139.0	158.1	1.14	0.16	0.34	"
17		"		"	"		前面部 右側	233.0 147.3	161.4	1.10	0.17	0.31	"
18	震	N65-M-S	最上川	川	砂越地区		盛土部	225.0 185.3	273.4	1.48	0.22	0.21	"
18		"		"	"		前面部	225.0 166.5	288.5	1.73	0.22	0.03	"
19	震	"	"	"	新渡地区		盛土部	214.0 200.9	242.4	1.21	0.21	0.31	"
19		"		"	"		前面部 左側	214.0 161.5	431.7	2.67	0.25	0.24	"
19	"		"	"	"		前面部 右側	214.0 157.8	448.6	3.08	0.25	0.17	"

※上段は2E, 下段はE+F

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

表 7-7 地盤の地震応答計算結果 ( その 4 )

番号	地震名	整理番号	港河路	名川名	地区名	施設名	地点	基礎加速度 ※(Gal)	地表 加速度 (Gal)	増幅度	作用震度	最大歪 (%)	備考
20		N88-M-D	岩木川	車力築堤	富範第1築堤	盛土部	162.0 124.7	209.5	1.29	0.20	0.23	河川盛土	
20	日	"	"	"	"	前面部	225.0 168.2	292.1	1.30	0.22	0.21	"	
21		"	"	"	豊富築堤	盛土部	162.0 139.5	208.8	1.50	0.20	0.39	"	
21	本	"	"	"	"	前面部 左側	162.0 123.3	249.9	2.03	0.21	0.21	"	
21		"	"	"	"	前面部 右側	162.0 127.7	236.1	1.85	0.21	0.23	"	
22	海	"	"	"	下繁田築堤	盛土部	161.0 132.4	224.2	1.69	0.20	0.42	"	
22		"	"	"	"	前面部	161.0 150.3	255.7	1.70	0.21	0.12	"	
23	中	"	米代川	中川原地区	中川原築堤	盛土部	158.0 116.0	172.5	1.49	0.18	0.23	"	
23		"	"	"	"	前面部	158.0 109.9	180.3	1.64	0.18	0.17	"	
24	部	"	雄物川	割山地区	牛島堤防	盛土部	134.0 103.5	194.5	1.88	0.20	0.19	"	
24		"	"	"	"	前面部	134.0 91.1	210.6	2.31	0.20	0.08	"	
25	地	"	"	"	鹿野戸堤防	盛土部	129.0 97.1	168.5	1.74	0.17	0.22	"	
25		"	"	"	"	前面部	129.0 94.9	178.7	1.88	0.18	0.14	"	
26	震	"		秋田県能代市	一の沢	盛土部	174.0 156.6	153.8	0.98	0.16	1.17	溜池盛土	
26		"		"	"	盛土部	174.0 153.9	158.9	1.03	0.16	0.88	"	

※上段は2E, 下段はE+F

表-7 地盤の地震応答計算結果(その5)

番号	地震名	整理番号	港河路 湾川線	地名	地区名	施設名	地設名	地点	基礎 加速度 ※(Gal)	地表 加速度 (Gal)	増幅度	作用震度	最大歪 (%)	備考
27		M83-M-D		秋田県若美町		鶴の木1号	盛土部	盛土部	181.0 132.9	257.6	1.94	0.21	0.34	溜池盛土
27	日	"		"	"	"	前面部	前面部	181.0 159.0	211.4	1.33	0.20	0.03	"
28		"		"	"	鶴の木3号	盛土部	盛土部	181.0 148.0	234.2	1.58	0.21	0.42	"
28	本	"		"	"	"	前面部	前面部	181.0 168.4	215.6	1.28	0.20	0.06	"
29		"		青森県木造町		勘	盛土部	盛土部	176.0 157.0	222.1	1.41	0.20	0.68	"
29	海	"		"	"	"	前面部	前面部	176.0 147.5	230.6	1.56	0.21	0.37	"
30		"		車力村		カスベ	盛土部	盛土部	166.0 135.6	195.5	1.44	0.20	0.49	"
30	中	"		"	"	"	前面部	前面部	166.0 149.8	196.0	1.31	0.20	0.07	"
31		"		三沢市		山中	盛土部	盛土部	77.0 66.5	102.2	1.54	0.10	0.09	"
31	部	"		"	"	"	前面部	前面部	77.0 71.8	89.2	1.24	0.09	0.03	"
32		"		秋田県琴丘町		泉沢	盛土部	盛土部	168.0 119.8	196.4	1.64	0.20	0.16	"
32	地	"		"	"	"	前面部	前面部	168.0 144.5	190.8	1.32	0.20	0.05	"
33		"		秋田県岩美町		上の頭	盛土部	盛土部	179.0 139.7	196.2	1.40	0.20	0.36	"
33	震	"		"	"	"	前面部	前面部	179.0 139.4	252.0	1.81	0.21	0.17	"
34		"		秋田県琴丘町		竹の林	盛土部	盛土部	168.0 140.9	226.3	1.61	0.20	0.52	"

※上段は2E, 下段はE+F

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解折手法の検討

表-7 地盤の地震応答計算結果(その6)

番号	地震名	整理番号	港河路	湾川名	地区名	施設名	地点	基礎加速度 ※(Gal)	地表 加速度 (Gal)	増幅度	作用震度	最大歪 (%)	備考
34		N83-M-D			秋田県琴丘町	竹の林	前面部	168.0 151.8	196.5	1.29	0.20	0.09	溜池盛土
35		"			秋田県合川町	下杉2号	盛土部	166.0 149.1	196.2	1.32	0.20	0.05	"
35		"			"	"	前面部	166.0 162.2	169.8	1.05	0.17	0.00	"
36		"			秋田県琴丘町	牡丹	盛土部	168.0 147.1	228.4	1.55	0.21	0.23	"
36		"			"	"	前面部 左側	168.0 157.2	181.4	1.15	0.19	0.02	"
36		"			"	"	前面部 右側	168.0 145.5	192.6	1.32	0.20	0.09	"
37		"			秋田県男鹿市	狭間田	盛土部	183.0 133.8	196.7	1.47	0.20	0.27	"
37		"			"	"	前面部 左側	183.0 146.4	238.2	1.63	0.21	0.15	"
37		"			"	"	前面部 右側	183.0 126.1	236.3	1.87	0.21	0.18	"
38		"			秋田県合川町	上杉3号	盛土部	147.0 116.3	188.2	1.62	0.19	0.24	"
38		"			"	"	前面部 左側	147.0 133.6	174.5	1.31	0.18	0.05	"
38		"			"	"	前面部 右側	147.0 133.5	222.2	1.66	0.20	0.10	"
39		"	能代南BP		青森県森田村	小戸六	盛土部	173.0 131.7	252.6	1.92	0.21	0.18	"
39		"	"		"	"	前面部 左側	173.0 155.8	208.2	1.34	0.20	0.06	"
39		"	"		"	"	前面部 右側	173.0 152.7	208.0	1.36	0.20	0.05	"

※上段は2E, 下段はE+F

表-7 地盤の地震応答計算結果(その7)

番号	地震名	整理番号	港名	湾名	地名	施設名	地点	基盤 加速度 ※(Gal)	表 地 加速度 (Gal)	増幅度	作用震度	最大歪 (%)	備考
40		N83-M-D	能代	南	BP	浅内字出戸谷地	盛土部	181.0 126.6	204.8	1.62	0.20	0.17	道路盛土
40	日	"	"	"	"	"	前面部	181.0 128.3	194.8	1.52	0.20	0.13	"
41		"	奥羽	本	線	浅内字赤沼	盛土部	181.0 134.0	213.6	1.59	0.20	0.19	"
41	本	"	"	"	"	"	前面部	181.0 126.7	215.9	1.70	0.20	0.17	"
42		"	"	"	"	鯉川・鹿渡	盛土部	179.0 138.0	231.5	1.68	0.21	0.48	鉄道盛土
42	海	"	"	"	"	"	前面部	179.0 132.6	285.6	2.15	0.22	0.29	"
43		"	"	"	"	森岳・北金岡	盛土部	179.0 142.8	234.5	1.64	0.21	0.35	"
43	中	"	"	"	"	"	前面部 左側	179.0 166.5	207.4	1.25	0.20	0.05	"
43	部	"	"	"	"	"	前面部 右側	179.0 142.8	268.0	1.88	0.22	0.21	"
44		"	"	"	"	南能代構内	盛土部	211.0 189.9	188.8	1.01	0.20	0.86	"
44	地	"	"	"	"	"	前面部 左側	211.0 188.9	214.4	1.13	0.20	0.76	"
44		"	"	"	"	"	前面部 右側	211.0 188.7	234.4	1.24	0.21	0.73	"
45		"	"	"	"	大釈迎鶴ヶ坂	盛土部	133.0 100.8	203.8	2.02	0.20	0.15	"
45	震	"	"	"	"	"	前面部 左側	133.0 118.7	157.2	1.32	0.16	0.06	"
45		"	"	"	"	"	前面部 右側	133.0 129.9	142.8	1.10	0.15	0.02	"

※上段は2E, 下段はE+F



盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

表-7 地盤の地震応答計算結果(その8)

番号	地震名	整理番号	港名	湾名	地名	地区名	施設名	地名	基盤 加速度 ※(Gal)	地表 加速度 (Gal)	増幅度	作用震度	最大歪 (%)	備考
46		N83-M-D	五能線	能川線	鯉ヶ沢・鳴沢		104km	盛土部	180.0 159.6	162.9	1.02	0.17	1.27	鉄道盛土
46	日	"	"	"	"	"	"	前面部 左側	180.0 152.8	171.1	1.12	0.18	0.96	"
46		"	"	"	"	"	"	前面部 右側	180.0 153.5	171.5	1.12	0.18	0.92	"
47	本	"	八郎潟干拓		秋田県大潟村		正面堤防	盛土部	170.0 127.3	246.5	1.94	0.21	0.41	干拓盛土
47		"	"	"	"	"	"	前面部	170.0 146.7	199.0	1.36	0.20	0.07	"
48	海	"	"	"	"	"	東部承水路堤防	盛土部	164.0 131.5	170.5	1.30	0.17	0.93	"
48		"	"	"	"	"	"	前面部	164.0 131.7	205.4	1.56	0.20	0.83	"
49	中	"	"	"	"	"	"	盛土部	178.0 122.4	241.7	1.97	0.21	0.11	"
49		"	"	"	"	"	"	前面部 左側	178.0 120.5	229.7	1.91	0.21	0.10	"
49	部	"	"	"	"	"	"	前面部 右側	178.0 117.4	235.9	2.01	0.21	0.09	"
50	地	"	"	"	"	"	西部承水路堤防	盛土部	181.0 158.5	164.7	1.04	0.17	1.17	"
50		"	"	"	"	"	"	前面部	181.0 157.6	158.2	1.00	0.16	0.98	"
51	段	"	船川港		金川地区		金川護岸②	盛土部	178.0 152.4	206.0	1.35	0.20	0.89	護岸等
51		"	"	"	"	"	"	前面部	178.0 163.1	262.9	1.61	0.21	0.78	"
52		N83-M-S	船川港		金川地区		埋立護岸D <sub>2</sub>	盛土部	178.0 110.3	231.7	2.10	0.21	0.08	"

※上段は2E, 下段はE+F

表-7 地盤の地震応答計算結果(その9)

番号	地震名	整理番号	港河路	湾川線	名名名	地区名	施設名	地名	地点	基盤 加速度 ※(Gal)	地表 加速度 (Gal)	増幅度	作用震度	最大歪 (%)	備考
52	日本海中部地震	N83-M-S	船	川	港	金川地区	埋立護岸	D <sub>2</sub>	前面部	178.0 133.4	198.4	1.49	0.20	0.05	護岸等
53		"	本	荘	港	田尻地区	階段護岸		盛土部	116.0 89.3	146.6	1.64	0.15	0.04	"
53		"	"	"	"	"	"	"	前面部	116.0 101.4	124.6	1.23	0.13	0.01	"

※上段は2E, 下段はE+F

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

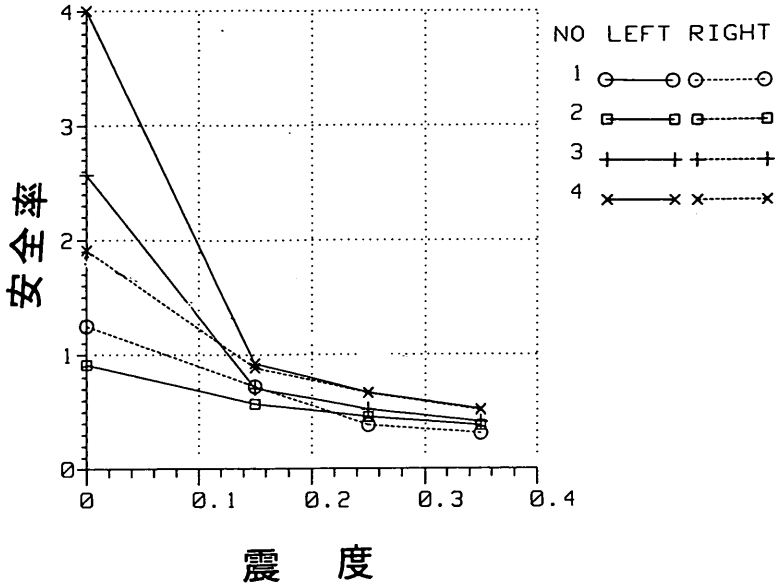


図-17 円形すべり安定計算結果 (No.1～4)

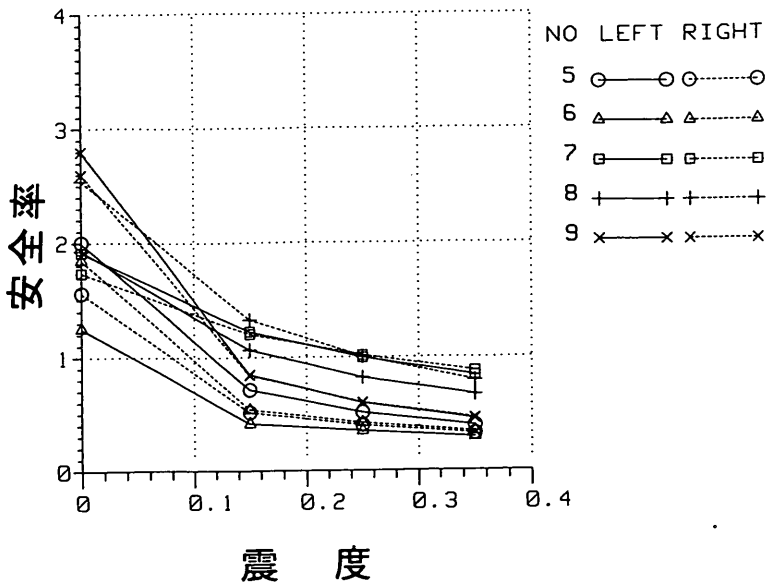


図-18 円形すべり安定計算結果 (No.5～9)

### 6.2 破壊震度と最大加速度の関係

破壊震度と最大加速度に或る関係があり、この関係より与えられる震度を用いた計算で盛土の被災が特定できれば、ここで検討した円形すべり安定計算手法の妥当性が確認される。そこで、6.1の計算結果より、破壊震度と最大加速度の関係を求めたのが図-30である。図-30は縦軸が破壊震度、横軸が最大加速度である。各地

点の結果は、被災程度を区別して示している。図中の実線は野田・上部・千葉<sup>16)</sup>により求められた重力式岸壁の震度と地盤加速度の関係である。この関係は次式で示される。

$$e = \frac{\alpha}{g} \quad (\alpha < 200 \text{ Gal})$$

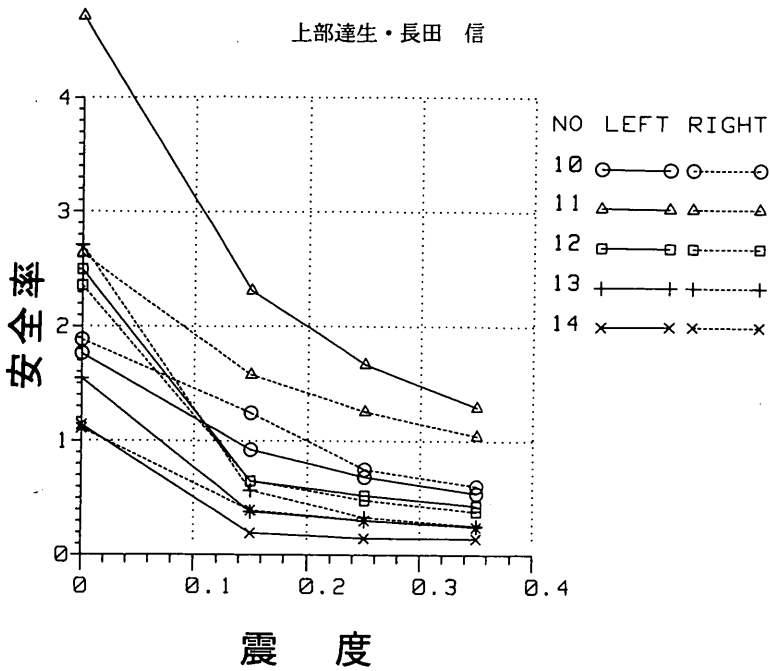


図-19 円形すべり安定計算結果 (No.10~14)

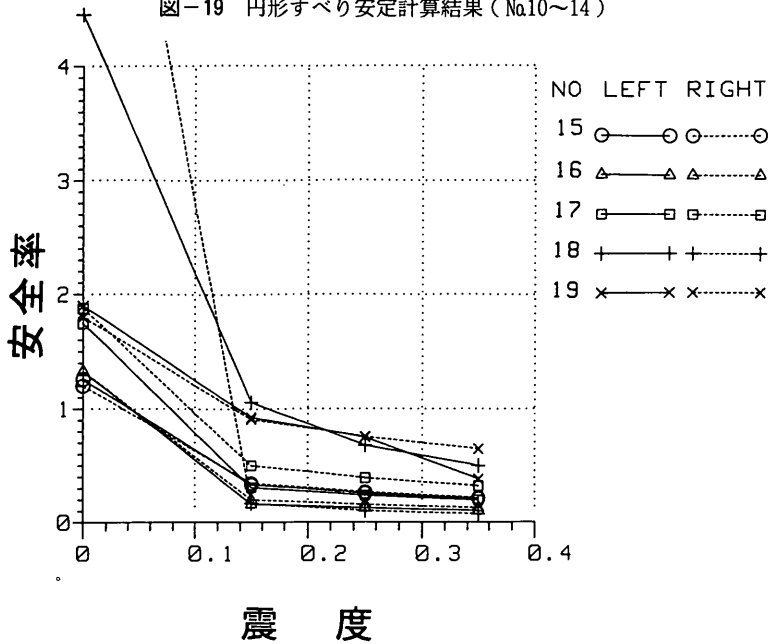


図-20 円形すべり安定計算結果 (No.15~19)

$$= \frac{1}{3} \left( \frac{\alpha}{g} \right)^{1/3} \quad (\alpha \geq 200 \text{ Gal}) \quad (6)$$

ここに、 $e$  : 作用震度 (ここでの破壊震度に相当)  
 $\alpha$  : 地盤最大加速度 (Gal)  
 $g$  : 重力加速度 (980 Gal)

れた逆算震度 (ここでいう破壊震度) と地盤最大加速度の関係である。これは、1978年伊豆大島近海地震等における事例解析により求められたもので、次式で表されている。

表-7で示した作用震度は上式より計算した値である。  
 さらに、図中の一点鎖線は松尾・板橋<sup>34)</sup>により求めら

$$K_m = 0.072 + 0.332 \left( \frac{\alpha}{g} \right) \quad (7)$$

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

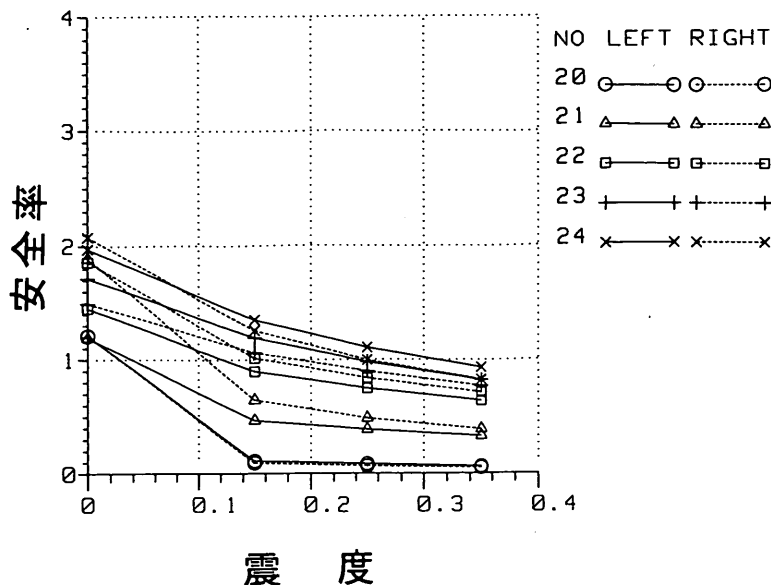


図-21 円形すべり安定計算結果 (No.20~24)

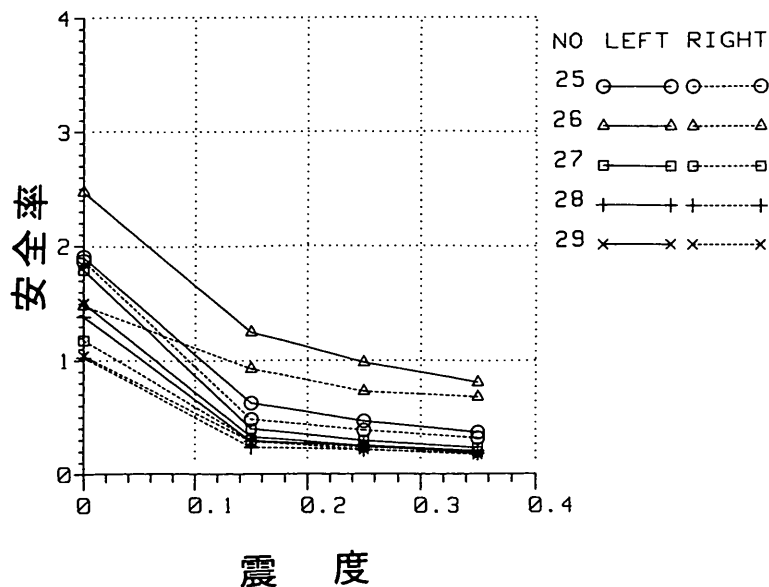


図-22 円形すべり安定計算結果 (No.25~29)

ここに、 $K_m$  : 逆算震度  
 $\alpha$  : 地盤最大加速度 (Gal)  
 $g$  : 重力加速度 (980 Gal)

図-30によれば、式(6)、(7)は無被災および被災程度 I と、被災程度 II 以上にある事が分かる。したがって、これらの式を用いれば、盛土の地震時の破壊を円形すべり安定計算により推定できると考えられる。すなわち震

度と過剰間隙水圧を考慮した円形すべり面法の安定計算により、飽和砂地盤上の盛土等の耐震性を検討できると考える。この場合に地盤最大加速度から震度を求めるには重力式係船岸の作用震度と地盤最大加速度の関係が準用できる。ただし、この結果はいくつかの仮定の下に得られた結論であるので、ここで示した仮定と異なる円形すべり安定解析手法で斜面の地震時安定問題を検討する

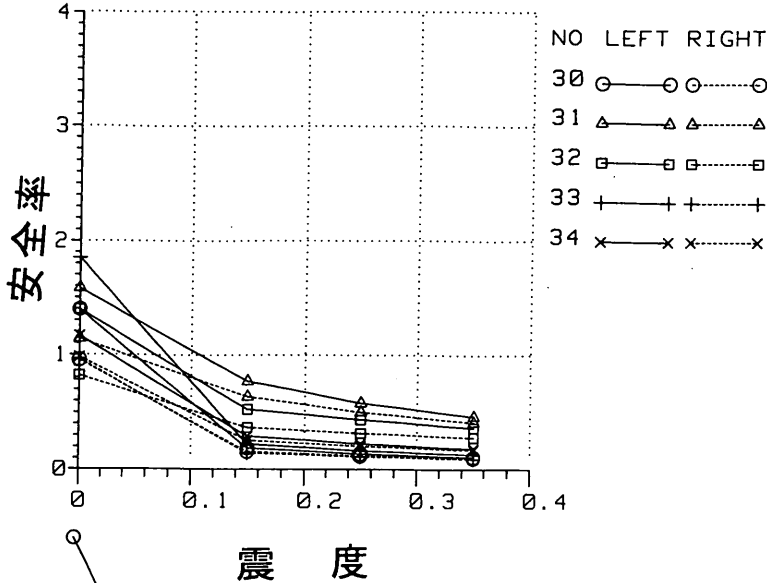


図-23 円形すべり安定計算結果 (No.30~34)

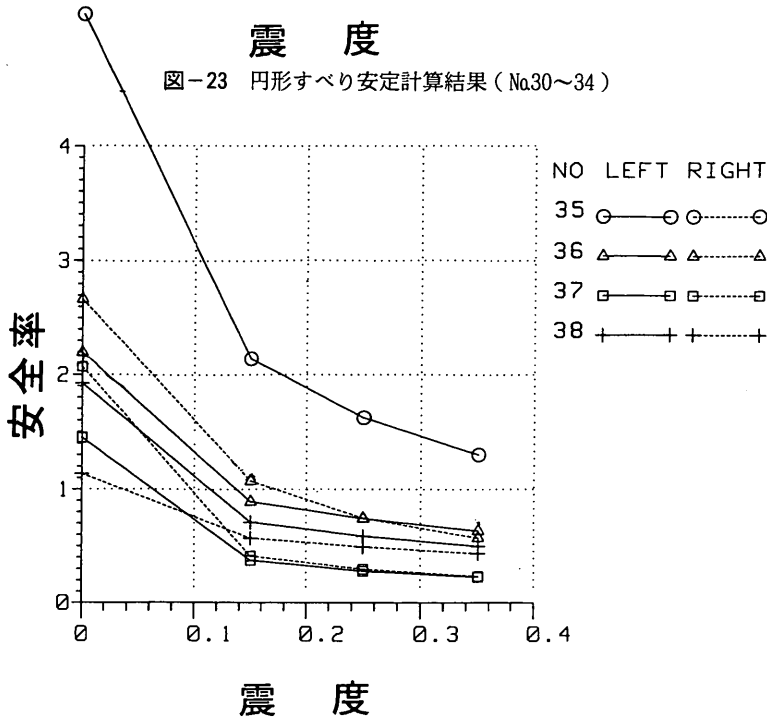


図-24 円形すべり安定計算結果 (No.35~38)

場合には、注意が必要である。また、図-30に示すように重力式係船岸の作用震度の関係式を示す線の上に被災程度Ⅰのデータがいくつかあるが、ここでは、盛土の被災は被災程度Ⅱ以上が重要であるという考え方にたって検討している。微少な被災も許容しないような盛土構造物の場合にはここで示した概略検討に続いて、さらに詳細な検討が必要である。一方、ここで検討は、デー

多数が十分でないこともあり被災パターンに基づく検討は実施していない。さらにデータの蓄積を待って詳細な検討が望まれる。

### 6.3 危険度と被災変形量の関係

ここでいう危険度とは式(6)で与えられる作用震度と構造物の安定計算で与えられる破壊震度の比である。作用震度が破壊震度に比して大きければ大きいほど(危険度

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

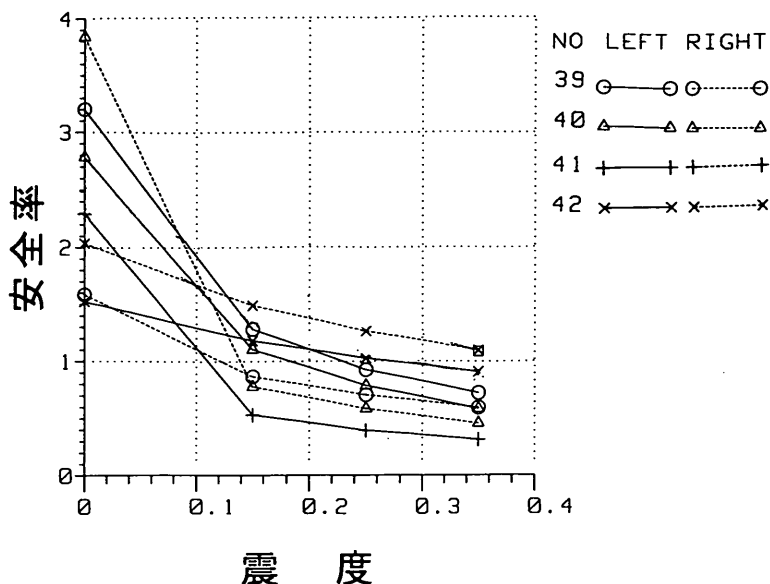


図-25 円形すべり安定計算結果 (No.39~42)

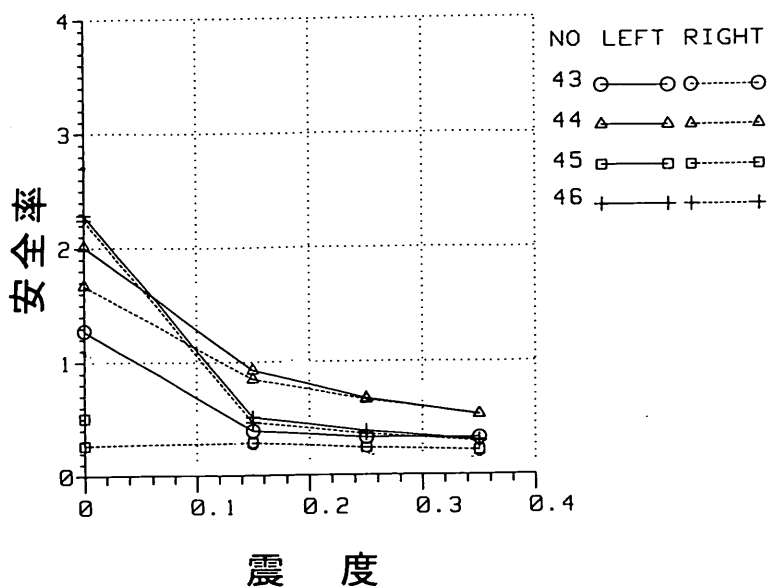


図-26 円形すべり安定計算結果 (No.43~46)

が大きい)、構造物に作用する地震動が大きく、したがって、構造物の被災度が大きい事が推察される。こうした観点から重力式係船岸について、危険度と被災変形量の関係式が求められている<sup>33)</sup>。盛土等についても同様の検討を試みた。表-8には、盛土等の被災変形量を示されている。被災変形量の内、沈下量のデータが最も多いので沈下量について検討した。図-31は被災程度と沈

下量の関係である。被災程度の増大と共に、沈下量の増加傾向がある。

図-32に、沈下量と危険度の関係を示す。松尾・板橋式の場合の危険度とは式(7)の逆算震度と破壊震度の比である。線形式とは作用震度を地盤最大加速度と重力加速度の比としたものである。図-32に示すように、データのばらつきが大きく、沈下量と危険度の関係は明確に

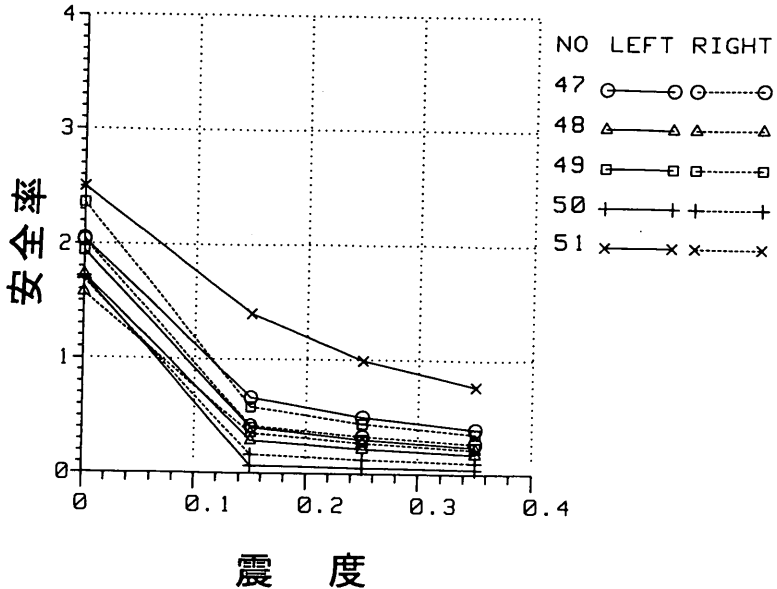


図-27 円形すべり安定計算結果 (No47~51)

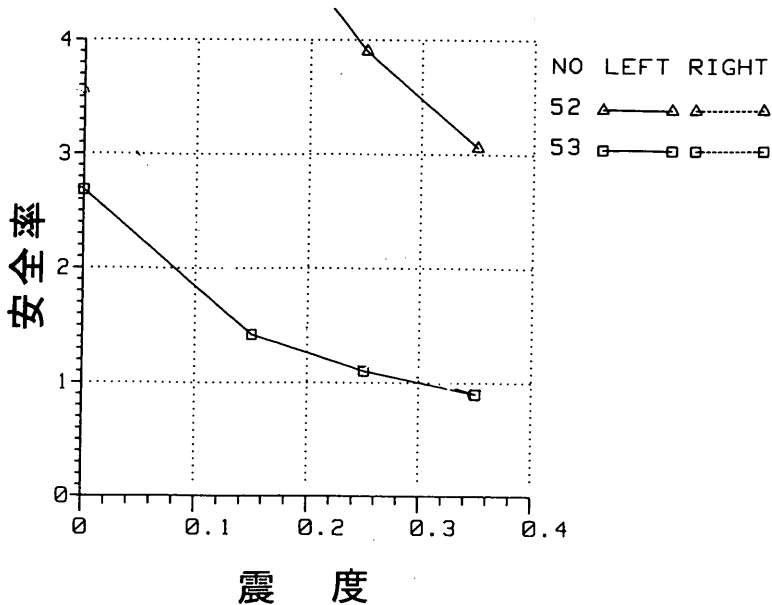


図-28 円形すべり安定計算結果 (No52, 53)

求める事ができなかった。

## 7. 結論

関東地震から1983年日本海中部地震までの過去の大地震による盛土等の被災事例を734事例収集した。これらの事例の約半分が被災パターン①（法面の崩壊等が法肩に限られるもの、図-3参照）であり、被災程度Iの事

例が全事例の半分強であった。収集した被災事例で安定解析に十分なデータがそろっている事例は少なく、安定解析の対象施設となったのは53事例（内無被災事例は4事例）であった。次に、被災地点の地盤応答解析を実施して、各地点の地盤加速度と基礎地盤の過剰間隙水圧を推定した。これらを用いて円形すべり面法による安定解析を実施した。この結果により、震度と過剰間隙水



盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

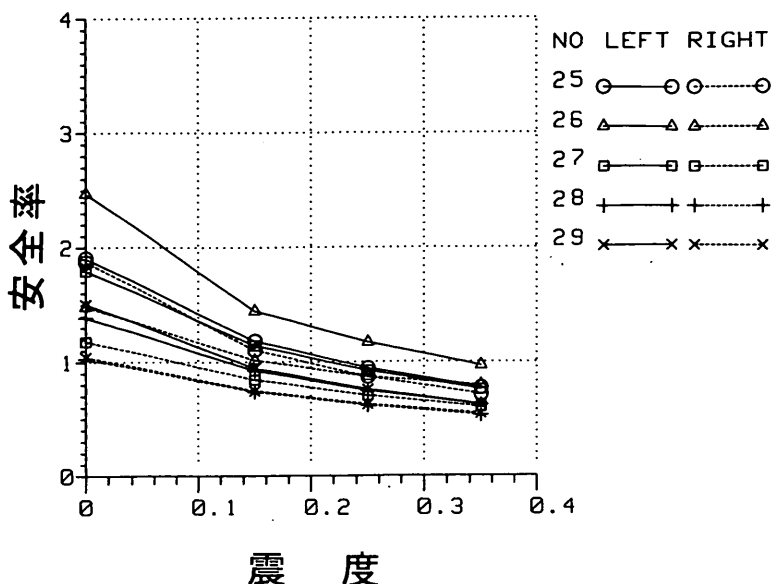


図-29 円形すべり安定計算結果（過剰間隙水圧なし）

表-8 円形すべり安定計算結果

地点名	亀裂幅 (cm)	段差量 (cm)	沈下量 (cm)	被災程度	被災パターン	最大加速度 (Gal)	破壊震度
1			20	2		174	0.07
2			52	3		168	
3			153	3		133	0.126
4	10		30	1		116	0.133
5	30			2		127	0.116
6	30			3		178	0.045
7	8		150	1		167	0.246
8				3		170	0.175
9	15		0	2		152	0.136
10	35			3	4	151	0.135
11	20		0	1		147	0.367
12	30	30	80	2		187	0.119
13	30	10	180	2	2	220	0.07
14			50	2	4	111	0.022
15	7	30	60	3	4	214	0.035
16	40	60	130	3	2	241	0.043
17	20		150	2	2	157	0.095
18	0	0	0	0		273	0.362
19	0	0	0	0		242	0.266
20	25		50	2	3	125	0.028
21			60	2	2	209	0.39
22	15	6	30	3	2	224	0.122
23				3	4	173	0.186
24		30	50	1	4	195	0.246
25			20	2	2	169	0.094
26			190	3	4	154	0.13
27		85	115	3	2	258	0.03
28				3	4	234	0.005
29			180	2	1	222	0.008
30			150	2	1	196	
31			80	2	4	102	0.107
32	30		25	2	2	196	0.068
33	10			2	4	196	0.078
34			80	2	4	226	
35	30			1	1	196	0.443
36	13			2	1	228	0.137
37	20		140	2	1	197	0.062
38	10			2	1	188	0.114
39				1	1	253	0.122
40		150		3	1	204	0.139
41		40		2	3	214	0.11
42				1	1	231	0.27
43				2	2	235	0.046
44			80	3	3	191	0.122
45				2	3	204	
46				2	3	163	0.108
47			130	3	3	247	0.096
48			120	3	3	171	0.07
49			50	3	3	242	0.115
50				3	3	165	0.055
51				1	1	206	0.246
52	0	0	0	0	0	232	0.594
53	0	0	0	0	0	147	0.298

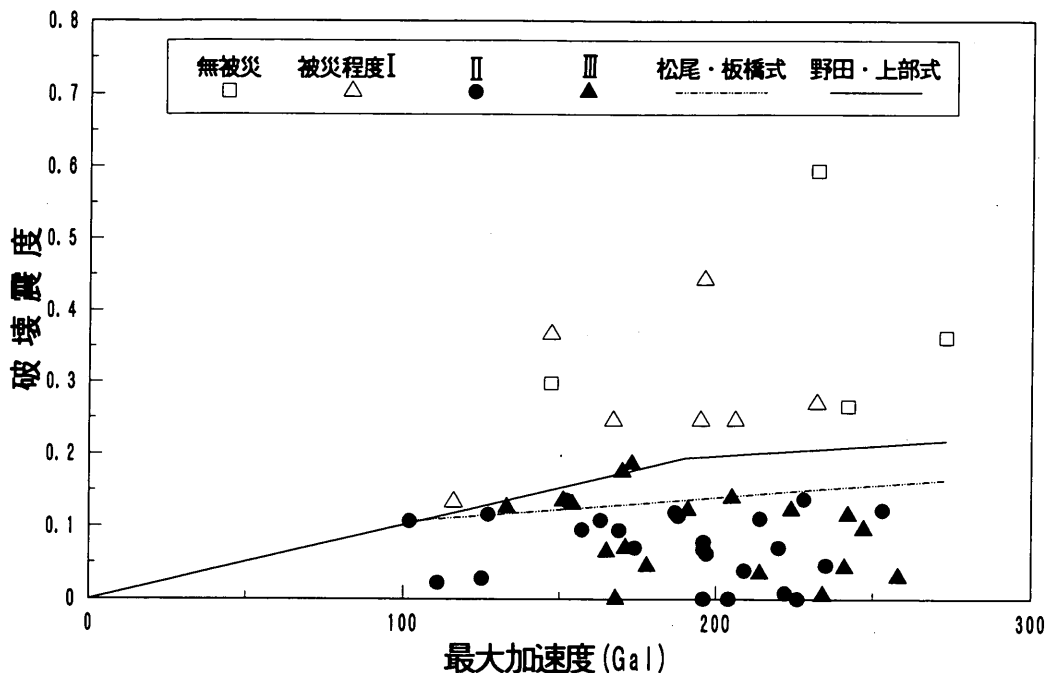


図-30 破壊震度と最大加速度の関係

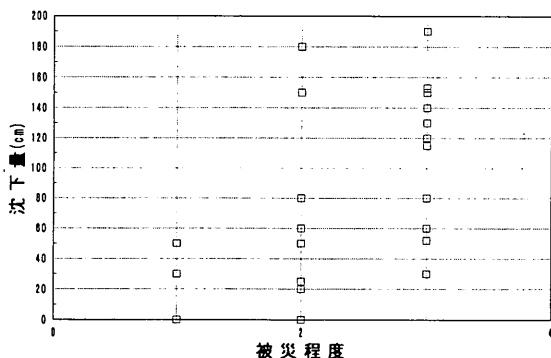


図-31 被災程度と沈下量の関係

圧を考慮した円形すべり面法の安定計算により、飽和砂地盤上の盛土等の耐震性を検討できることが確認された。この場合に地盤最大加速度から震度を求めるには、重力式係船岸の作用震度と地盤最大加速度の関係が準用できる。ただし、これはいくつかの仮定の下に得られた結論であるので、ここで示した仮定と異なる円形すべり安定解析手法で斜面の地震時安定問題を検討する場合には、注意が必要である。ここで示した手法は海岸堤防等のように線上に非常に長い構造物の各地点毎の耐震性の検討

を簡便に実施する場合に有効である。

謝辞

本研究の地震被災事例の収集等の調査は、海岸事業調査費によった。また、野田節男構造部長には本報告の取りまとめに関して貴重な助言をいただいた。最後であるが、心からの謝意を表します。

参考文献

- 1) 運輸省港湾局：港湾の施設の技術上の基準・同解説 1989年改訂版，日本港湾協会，1989年6月
- 2) 日本鉄道施設協会：軟弱地盤上盛土の耐震設計に関する研究報告書，1970年3月
- 3) 日本鉄道施設協会：盛土の耐震設計に関する研究報告書，1972年3月
- 4) 土田肇，野田節男，倉田栄一：海岸堤防の大型模型振動実験と円形すべり安定計算，港湾技術研究所報告，Vol.9, No.2, 1970年，pp.61~121
- 5) 野田節男，土田肇，倉田栄一：海岸堤防の大型模型振動実験（第2報）-砂質粘土からできた堤体の場合-，港湾技術研究所報告，Vol.12, No.2, 1973年，pp.31~61
- 6) 上部達生，北澤壮介，楢垣典弘：飽和砂地盤上の盛土の破壊振動実験と円形すべり安定解析，港湾技術研究所報告，Vol.24, No.2, 1985年，pp.305~359

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

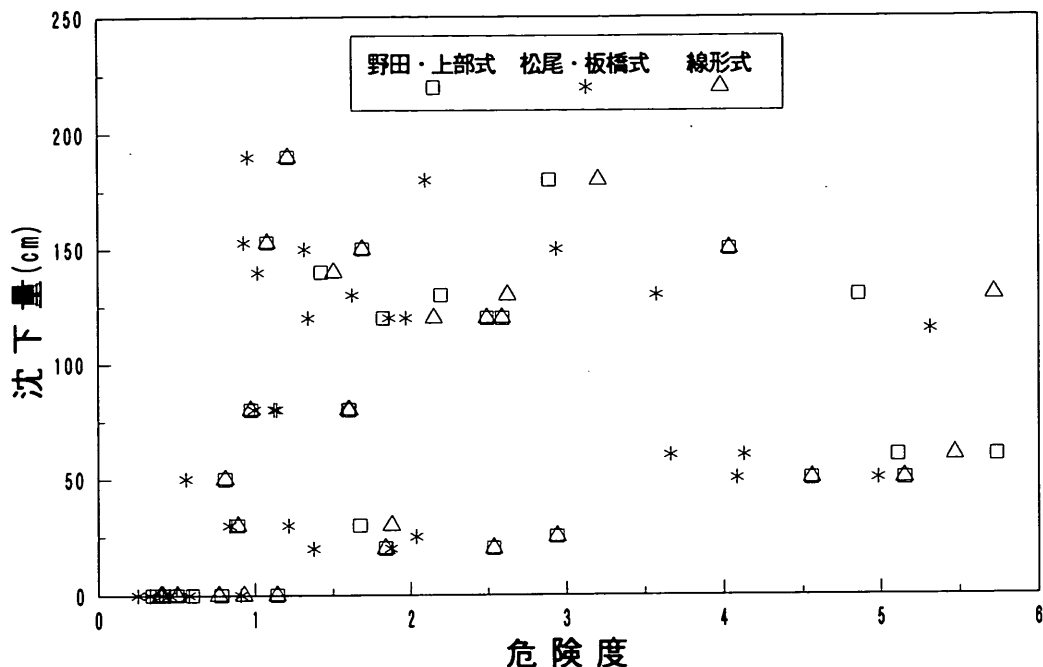


図-32 沈下量と危険度の関係

- 7) 運輸省港湾局, 第1港湾建設局, 港湾技術研究所: 新潟地震港湾被害報告第1部, 1964年9月
- 8) 土木学会: 昭和39年新潟地震被害調査報告, 1966年
- 9) 運輸省港湾局, 港湾技術研究所, 第2港湾建設局, 北海道開発局港湾部: 1968年十勝沖地震港湾被害報告・津波被害報告, 1968年12月
- 10) 運輸省港湾局, 港湾技術研究所, 北海道開発局港湾部: 1973年根室半島沖地震港湾被害報告・津波被害調査報告, 1973年10月
- 11) 土木学会耐震工学委員会: 「1978年伊豆大島近海の地震」報告, 土木学会誌, 1978年8月
- 12) 運輸省第5港湾建設局: 1978年伊豆大島近海地震調査報告, 1978年
- 13) 土田肇, 野田節男, 稲富隆昌, 柳生忠彦, 田端竹千穂, 徳永省三, 大槻有吾, 平野忠吉: 1978年宮城県沖地震港湾被害報告, 港湾技研資料, No.325, 1979年9月
- 14) 三橋郁雄, 中山種清: 1973年根室半島沖地震等の被災例による現行設計法の検討, 港湾技研資料, No.184, 1974年6月
- 15) 野田節男, 上部達生: 重力式岸壁の地震被災例集, 港湾技研資料, No.227, 1975年9月
- 16) 野田節男, 上部達生, 千葉忠樹: 重力式岸壁の震度と地盤加速度, 港湾技術研究所報告, Vol.14, No.4, 1976年12月, pp.67~111
- 17) 片山猛雄, 中野拓治, 蓮見隆, 山口孝一: 1968年十勝沖地震などの被災例による現行設計法の検討, 港湾技研資料, No.93, 1969年12月
- 18) 野田節男, 稲富隆昌, 北澤壮介, 土田肇: 1978年宮城県沖地震による矢板式係船岸の被害とその解析, 土と基礎, 1980年8月
- 19) 佐々木康, 谷口栄一, 松尾修, 館山悟: 土構造物の地震被害事例, 土木研究所資料, No.1576, 1980年3月
- 20) 北島昭一, 上部達生: 矢板岸壁地震時被災の分析, 港湾技術研究所報告, Vol.18, No.1, 1979年3月, pp.67~127
- 21) 松沢宏: 1978年伊豆大島近海地震による港湾の被害, 土と基礎, Vol.26, No.5, 1978年
- 22) 田村重四郎: 1974年伊豆半島沖地震の被害調査報告, 東京大学生産技術研究所, Vol.27, No.2, 1975年
- 23) 松沢宏: 1974年伊豆半島沖地震による道路港湾の被害特性, 土と基礎, Vol.24, No.4, 1976年
- 24) 土木学会: 1978年宮城県沖地震調査報告書, 土木学会, 1980年
- 25) 建設省土木研究所: 1983年日本海中部地震災害調査報告, 土木研究所報告, No.165, 1985年
- 26) 鉄道技術研究所: 1983年日本海中部地震調査報告, 鉄道技術研究報告, No.1267, 1984年
- 27) 谷茂, 安中正実, 川口徳忠, 釜田豊也: 1983年日本海中部地震によるため池被害調査報告, 農業土木試験場技報, No.169, 1985年
- 28) P.B.Schnabel, J.Lysmer, and H.B.Seed: SHAKE-A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No.EERC 72-12, Col. of Eng., Univ.

of Calif. Berkeley 1972

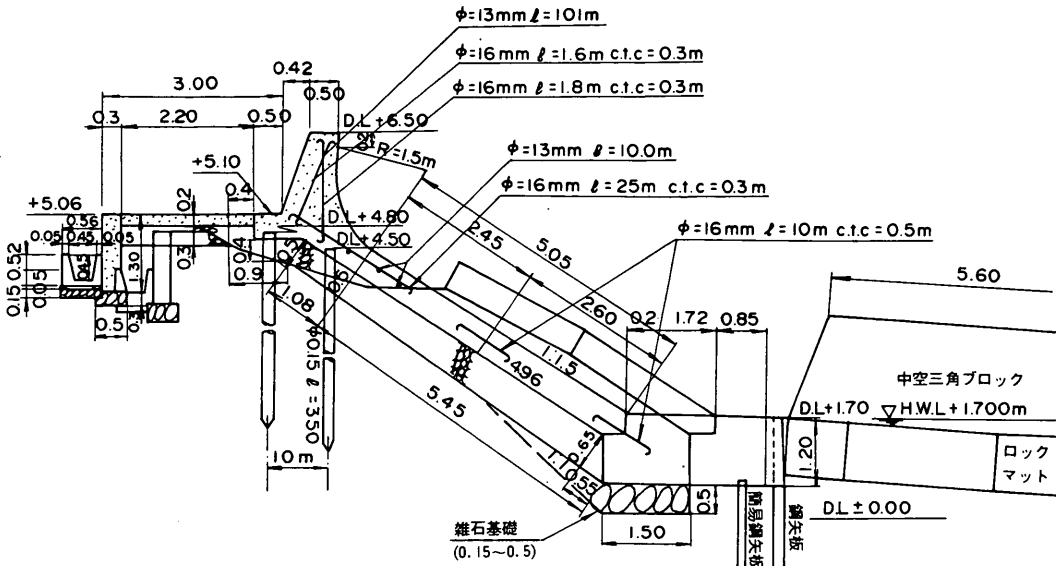
- 29) 倉田栄一, 井合 進, 横山淑子, 土田肇: 1978年宮城県沖地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料, No.319, 1979年6月
- 30) 倉田栄一, 福原哲夫, 野田節男: 昭和58年日本海中部地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料, No.458, 1983年9月
- 31) 上部達生: 東北地方太平洋沿岸地域の基盤における地震動-釜石湾口防波堤の設計用入力地震動-, 港湾技研資料, No.412, 1982年3月
- 32) 石原研而: 土質動力学の基礎, 鹿島出版会, 1976年8月
- 33) 土田肇, 稲富隆昌, 野田節男, 上部達生, 柳生忠彦, 村田利治: 港湾・海岸施設耐震性調査手法について, 港湾技研資料, No.336, 1980年6月
- 34) 松尾稔, 板橋一雄: 斜面および土構造物の耐震性評価に関する研究, 土木学会論文集, No.352/Ⅲ-2, 1984年12月, pp.139~147
- 35) 上部達生: 重力式係船岸の地震被災量に関する研究, 港湾技研資料, No.548, 1986年6月

記号表

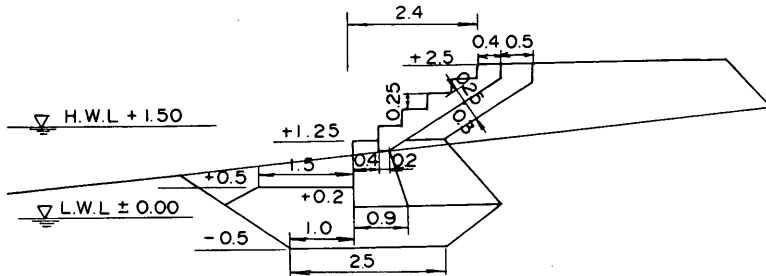
$a$	: 基盤最大加速度
$c$	: 粘着力
$D_r$	: 相対密度
$e$	: 作用震度
$g$	: 重力加速度
$K_m$	: 逆算震度
$l$	: 分割片の底辺長
$N$	: $N$ 値
$M$	: マグニチュード
$q_u$	: 一軸圧縮強度
$R$	: 断層面距離
$u$	: 過剰間隙水圧
$w'$	: 分割片の有効重量
$\alpha$	: 地盤最大加速度
$\beta$	: 分割片の底面の傾度
$\sigma_v'$	: 有効上載圧
$\phi$	: 内部摩擦角

付録 盛土等の標準断面図, 被災断面図

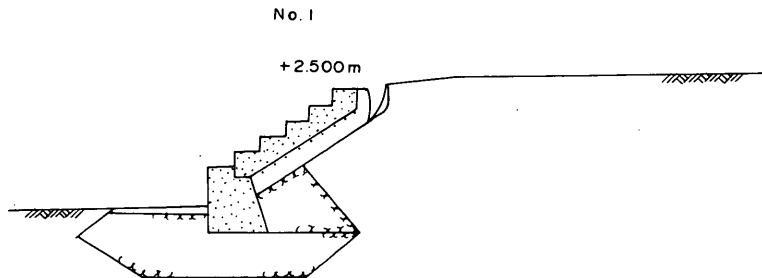
盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討



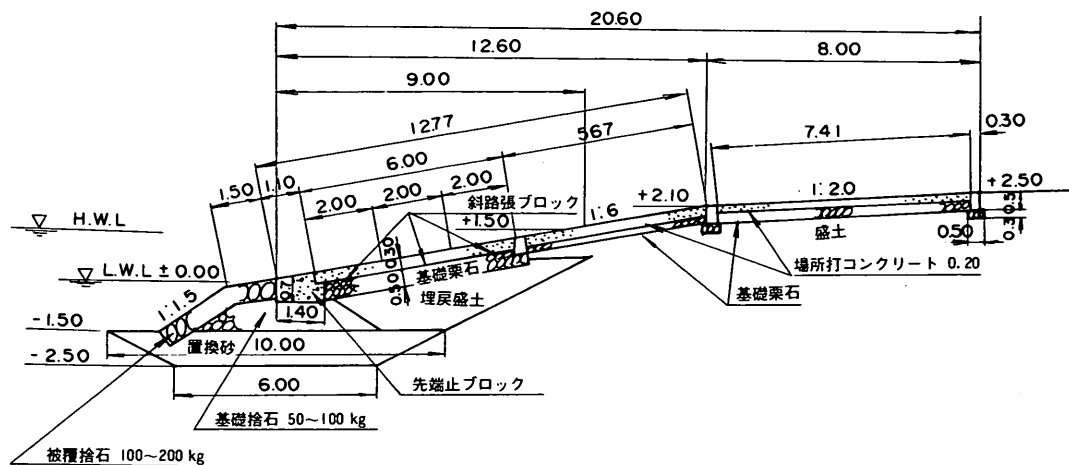
付図-1 西浜海岸防潮堤 (No.1)



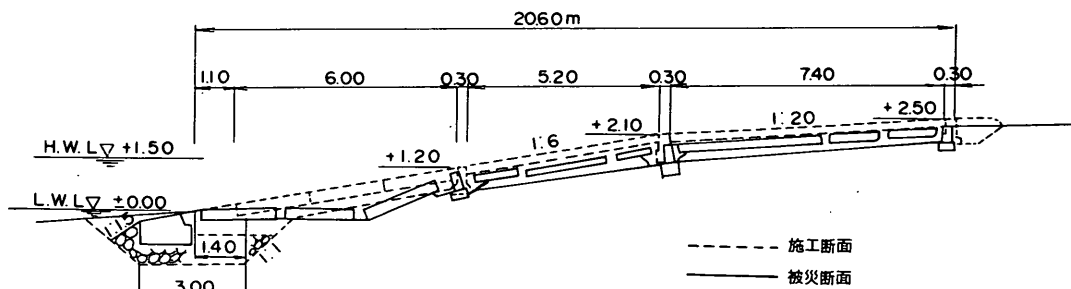
付図-2 関上漁港-0.5m物揚場 (No.2)



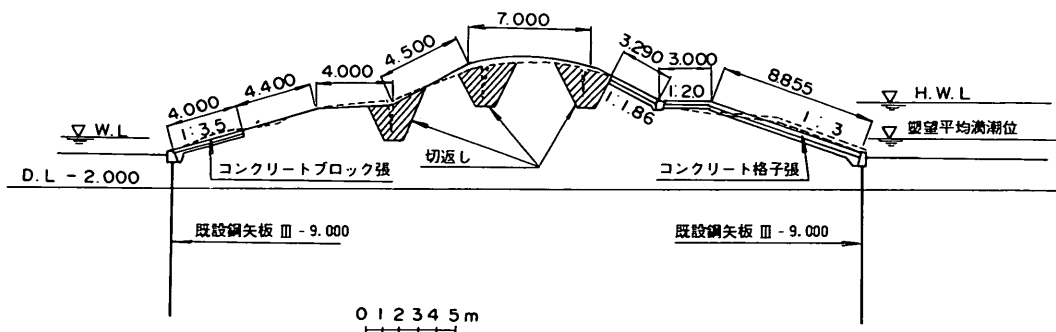
付図-3 関上漁港-0.5m物揚場 (No.2) 被災断面図



付図-4 閑上漁港船揚場 (No. 3)

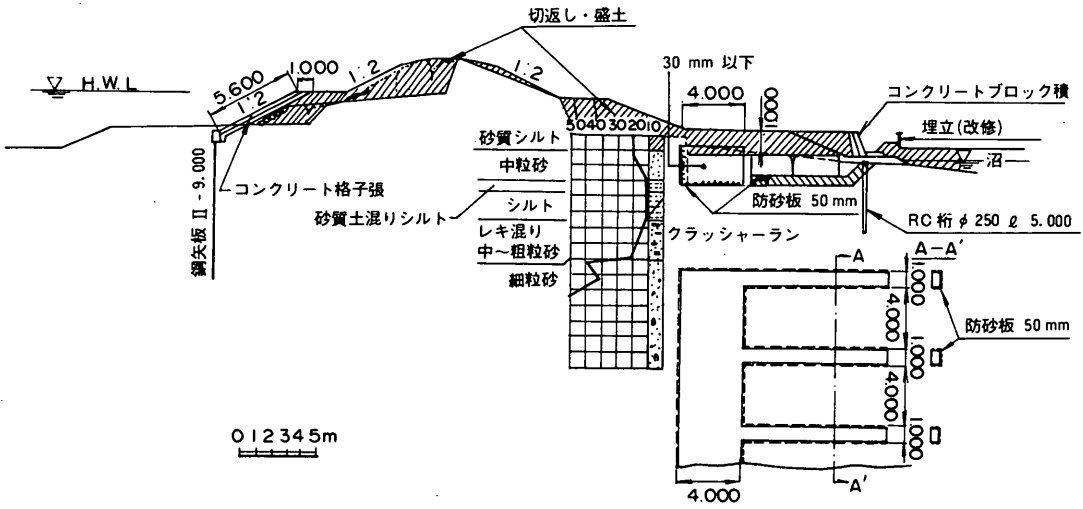


付図-5 閑上漁港船揚場 (No. 3) 被災断面図

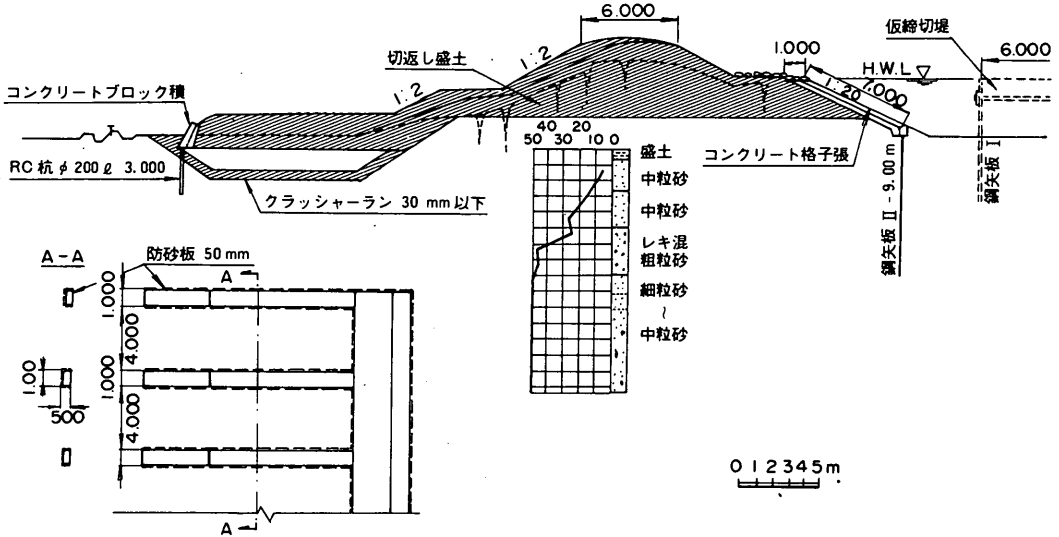


付図-6 寺島堤防 (No. 4)

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
 安定解析手法の検討

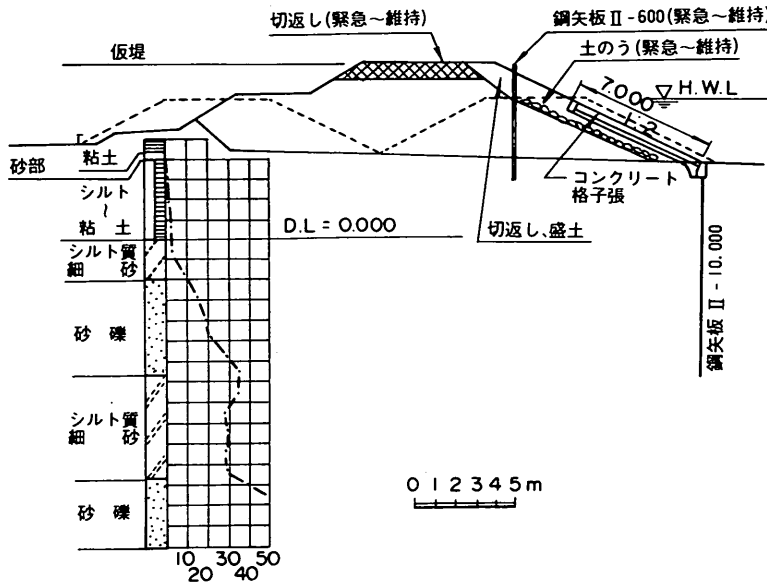


付図-7 関上堤防 (No.5)

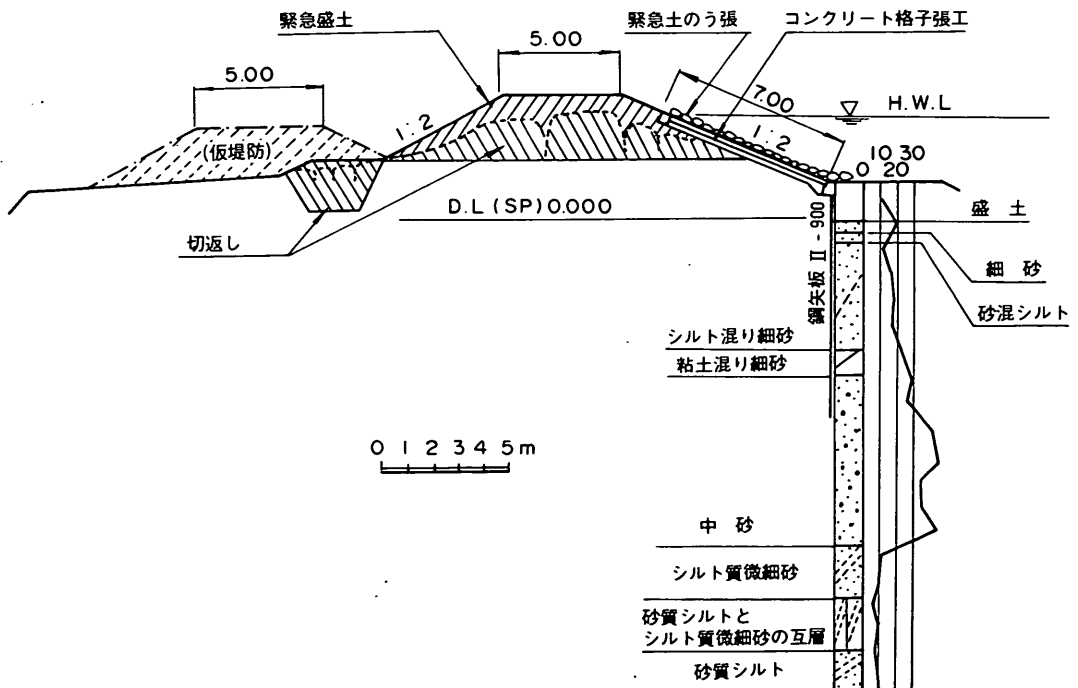


付図-8 種次第1堤防 (No.6)



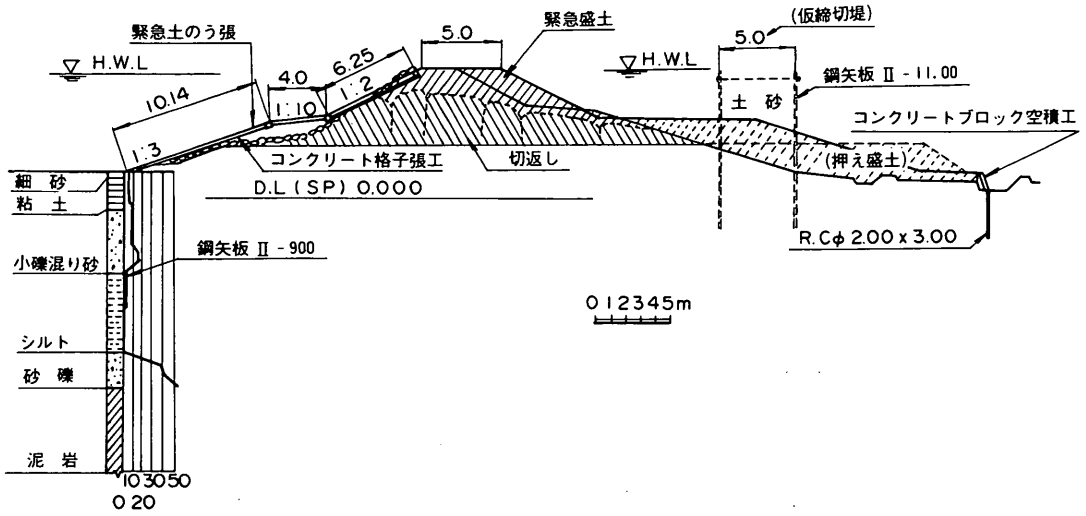


付図-9 今泉第2堤防 (No.7)

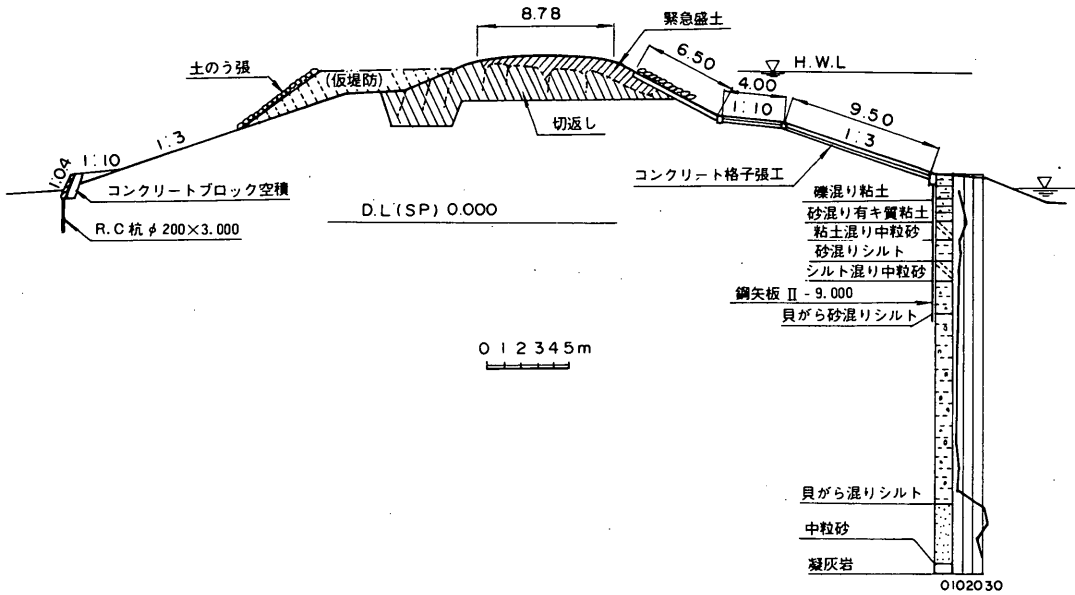


付図-10 浜市堤防 (No.8)

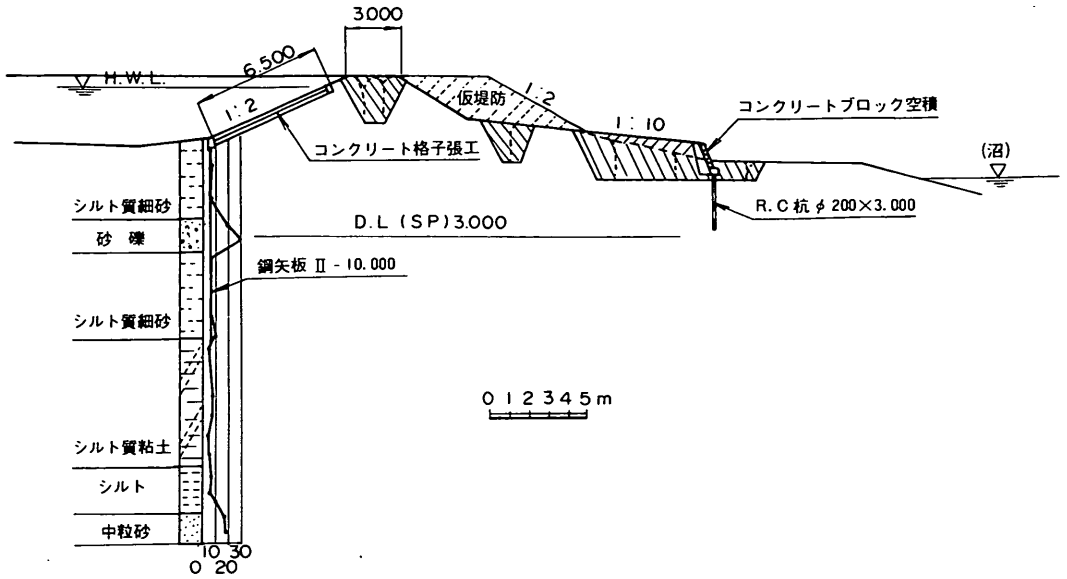
盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討



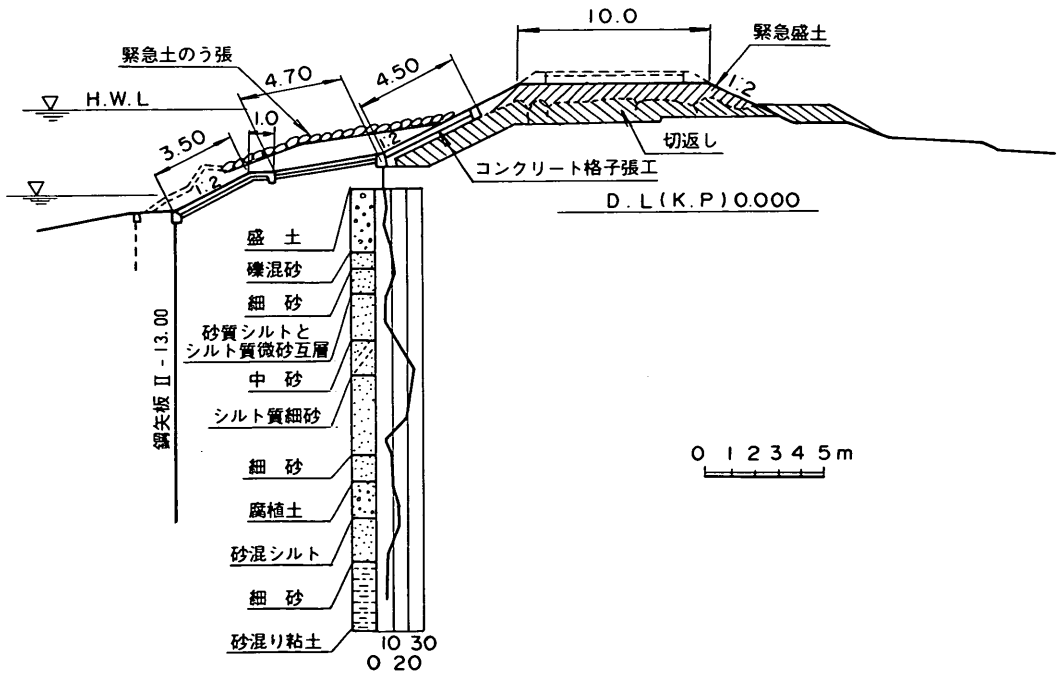
付図-11 山崎堤防 (No.9)



付図-12 志田谷地堤防 (No.10)

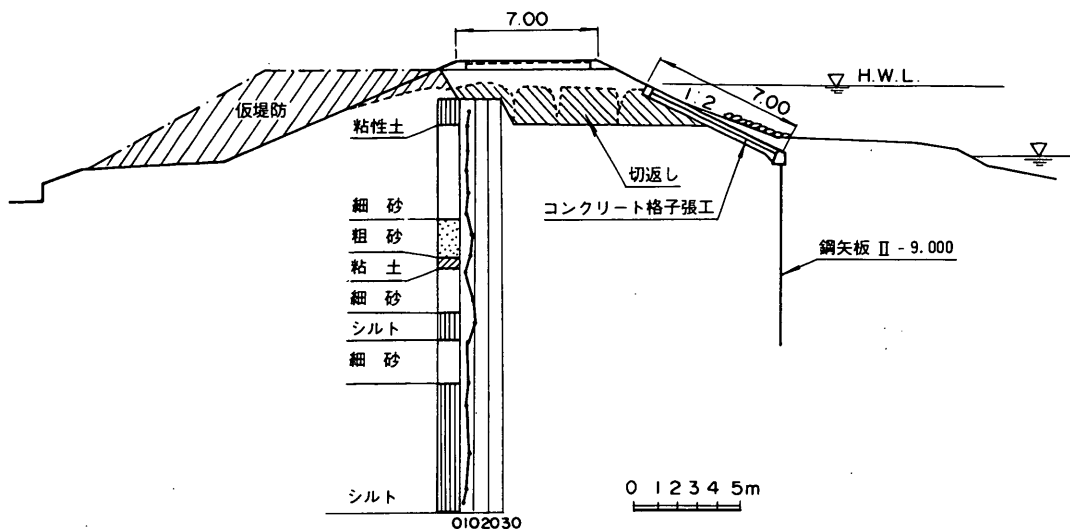


付図-13 袋堤防 (No.11)

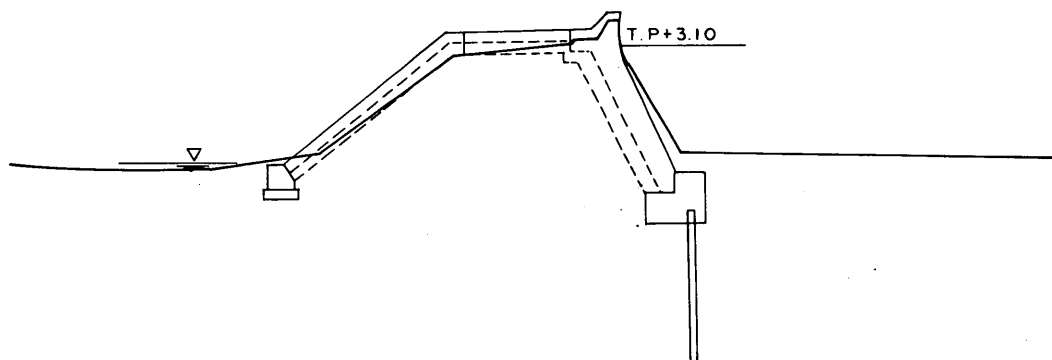


付図-14 釜谷堤防 (No.12)

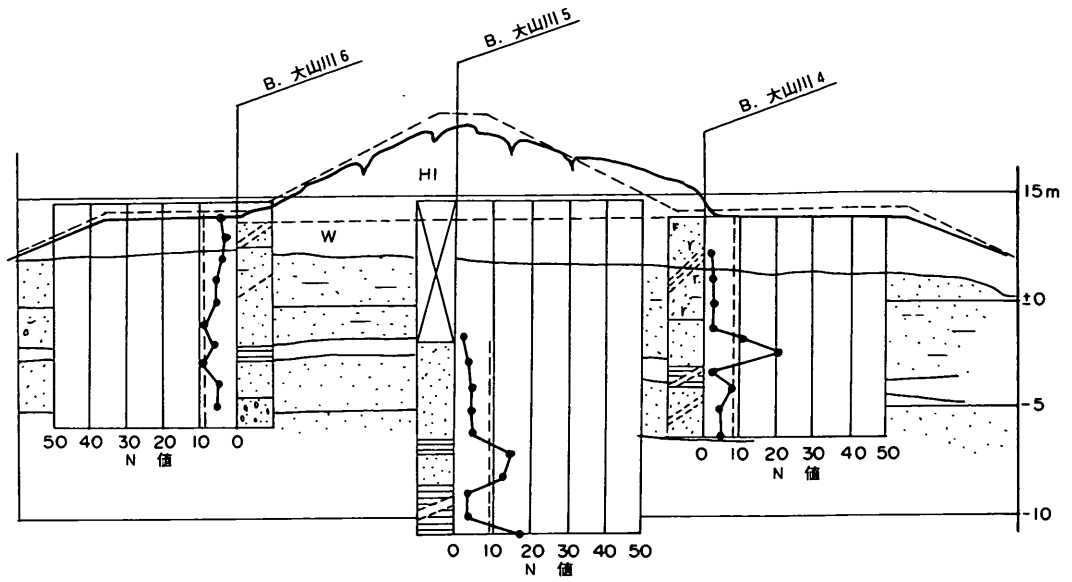
盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討



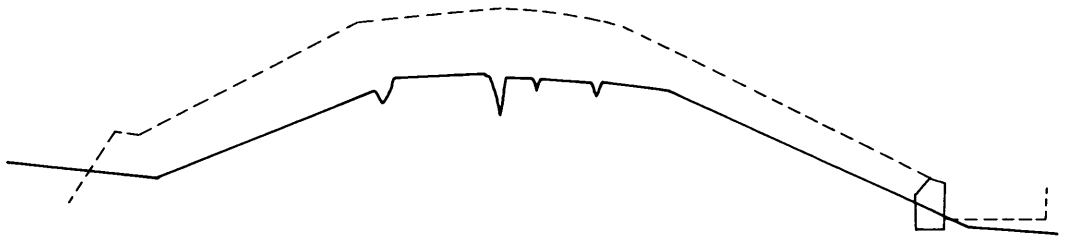
付図-15 橋浦堤防 (No.13)



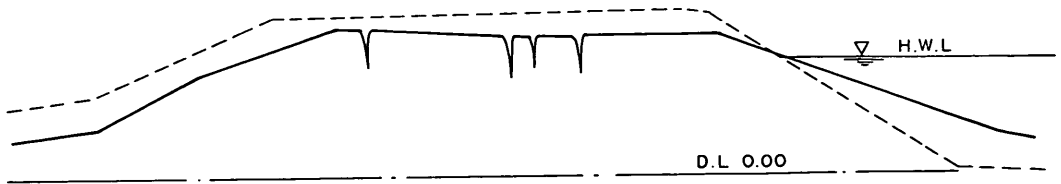
付図-16 東名海岸堤防 (No.14)



付図-17 広島新田堤防 (No.15)

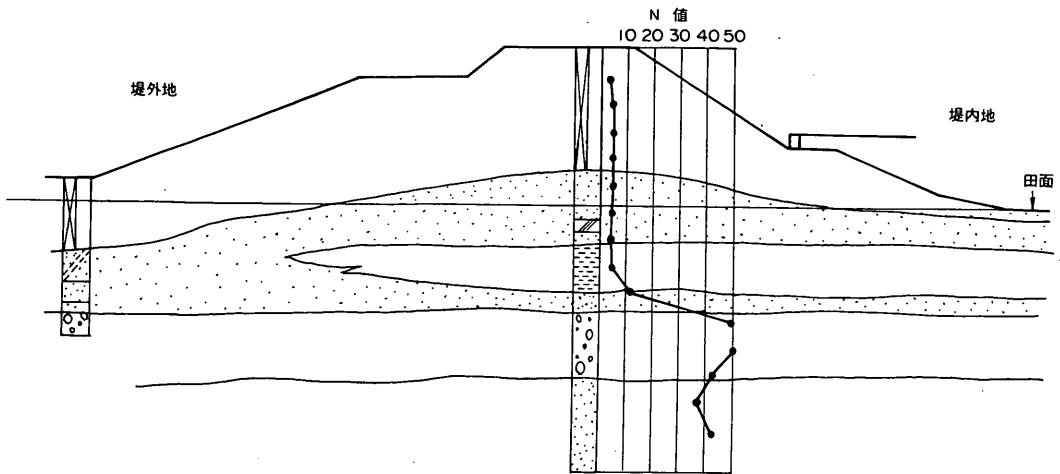


付図-18 下山地区堤防 (No.16)

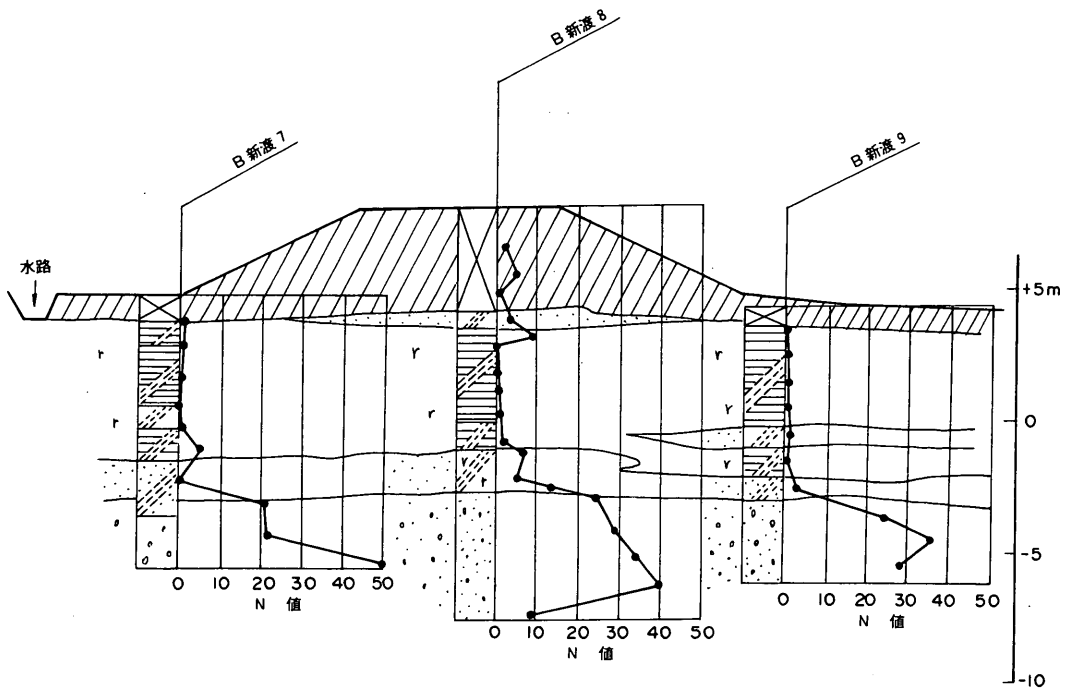


付図-19 新潟浜橋堤防 (No.17)

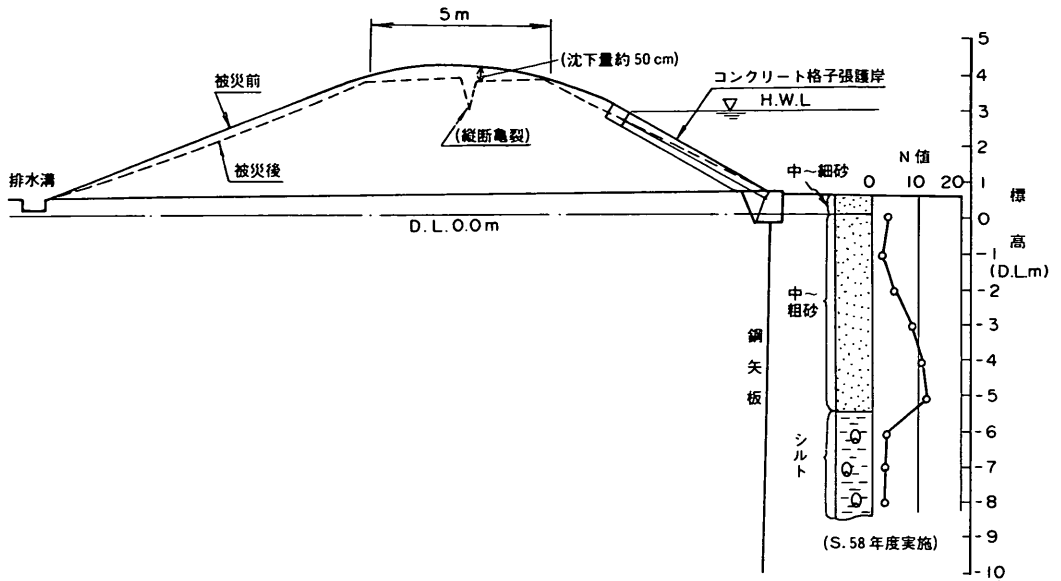
盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討



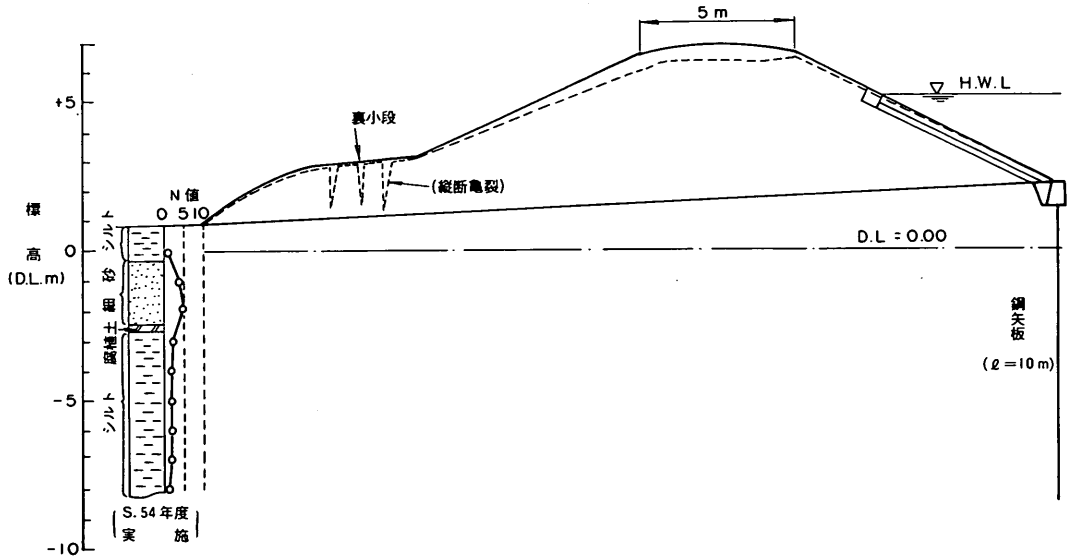
付図-20 砂越地区堤防 (No.18)



付図-21 新渡地区堤防 (No.19)

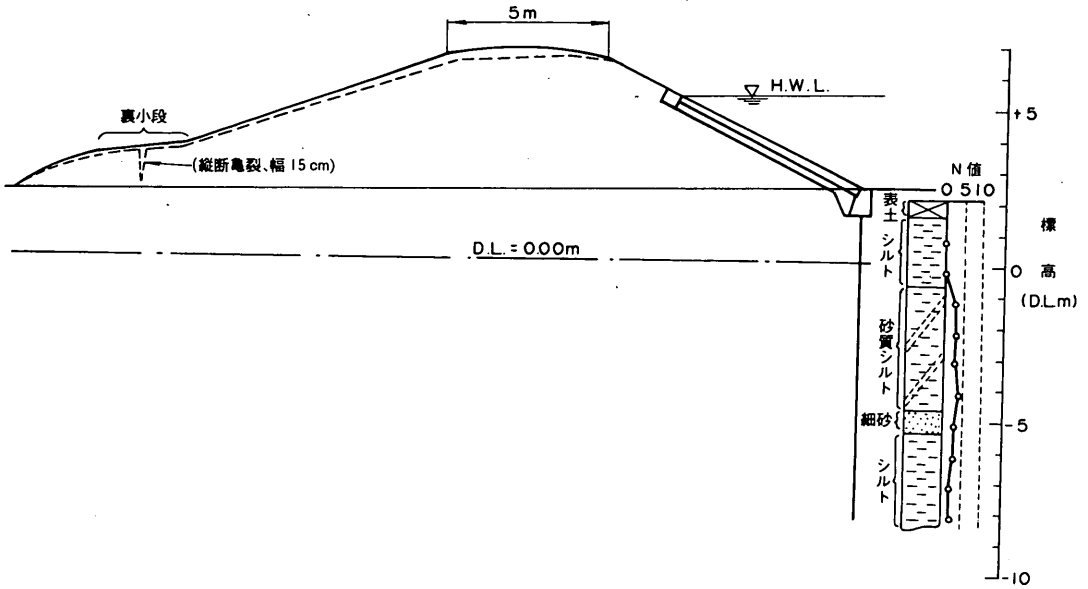


付図-22 富范第1築堤 (No.20)

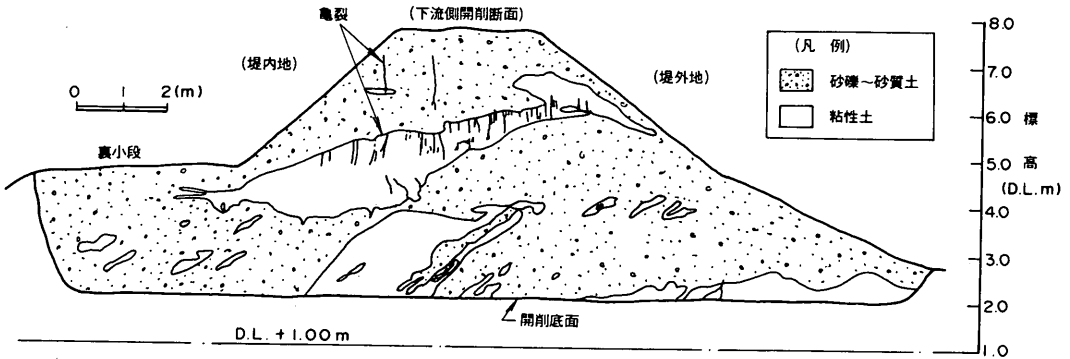


付図-23 豊富築堤 (No.21)

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり安定解析手法の検討

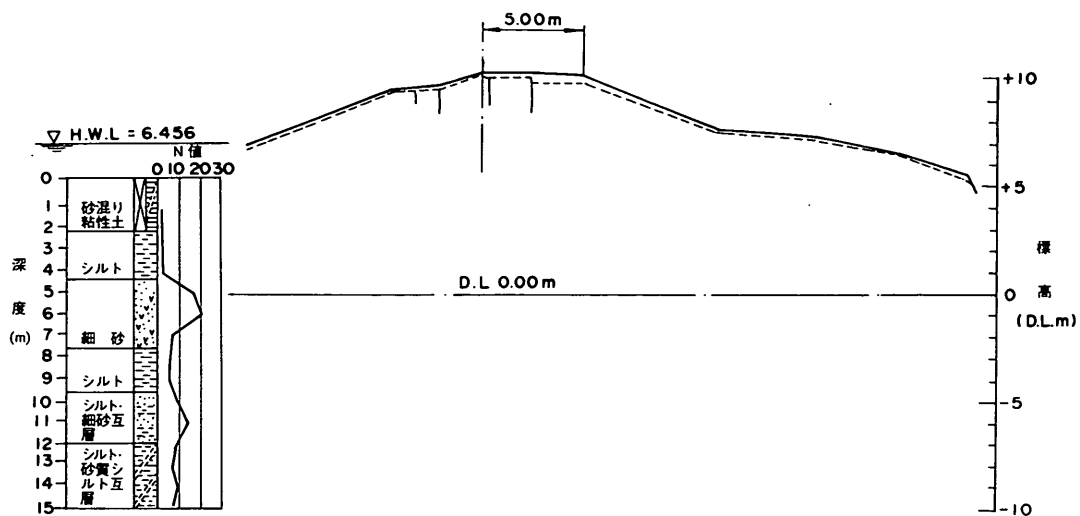


付図-24 下繁田築堤 (No.22)

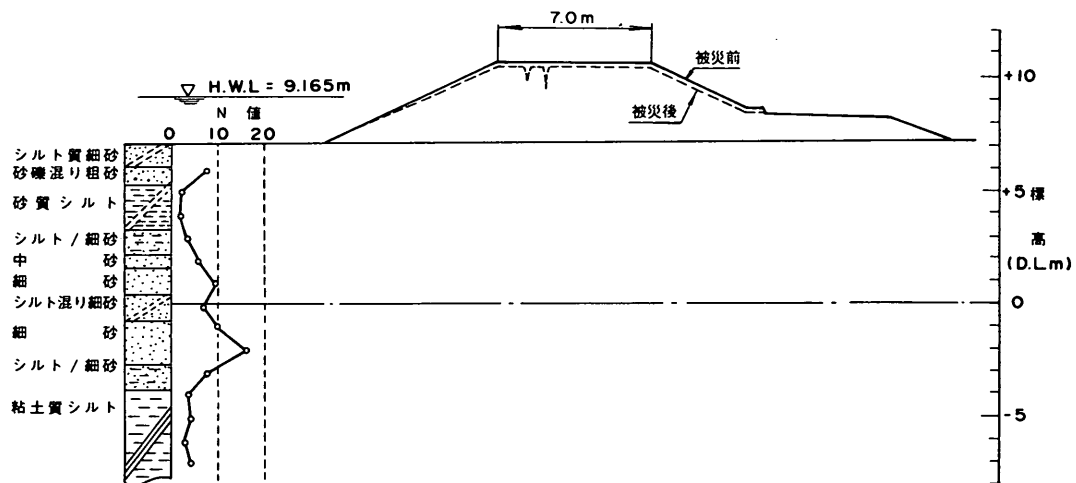


付図-25 中川原築堤 (No.23)



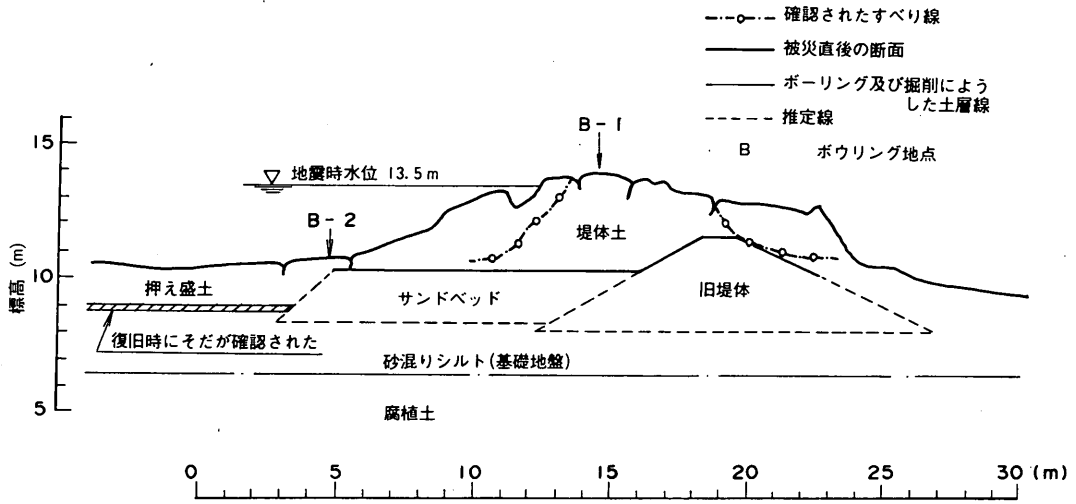


付図-26 手島堤防 (No.24)



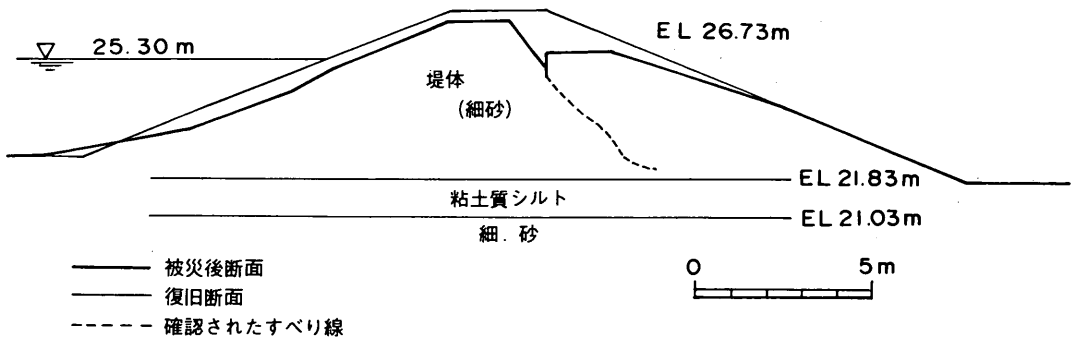
付図-27 鹿野戸堤防 (No.25)

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討

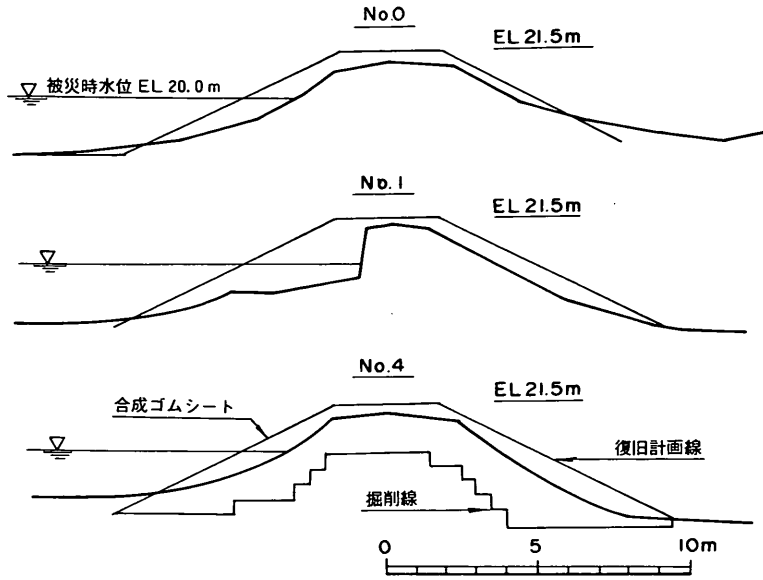


付図-28 一の沢 (No.26)

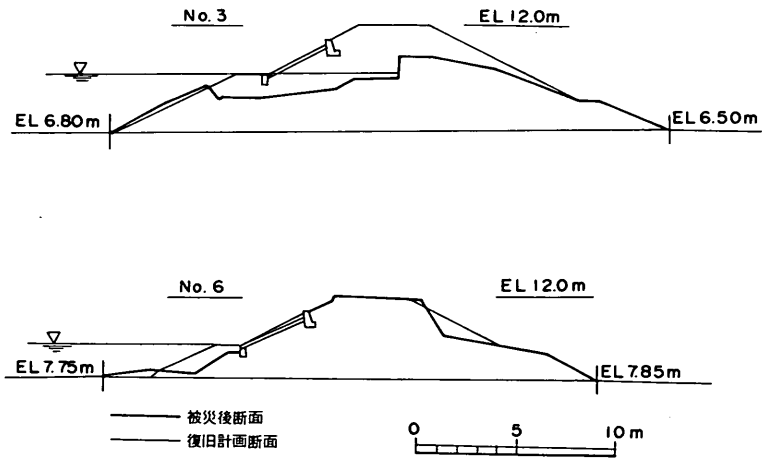
No.5



付図-29 鶺鴒の木1号 (No.27)

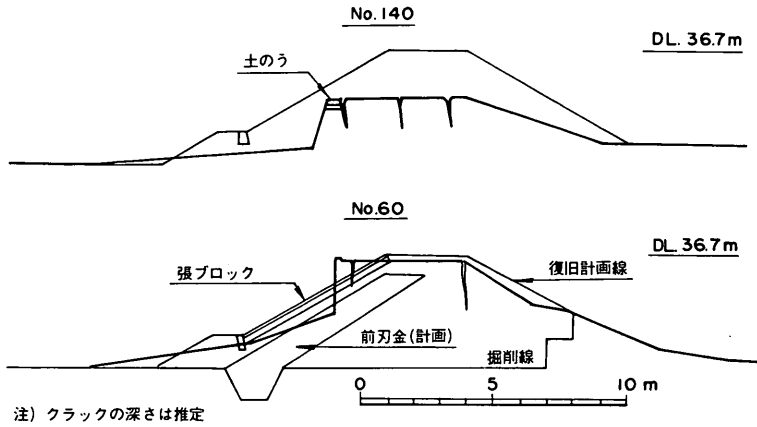


付図-30 鶴の木3号 (No.28)

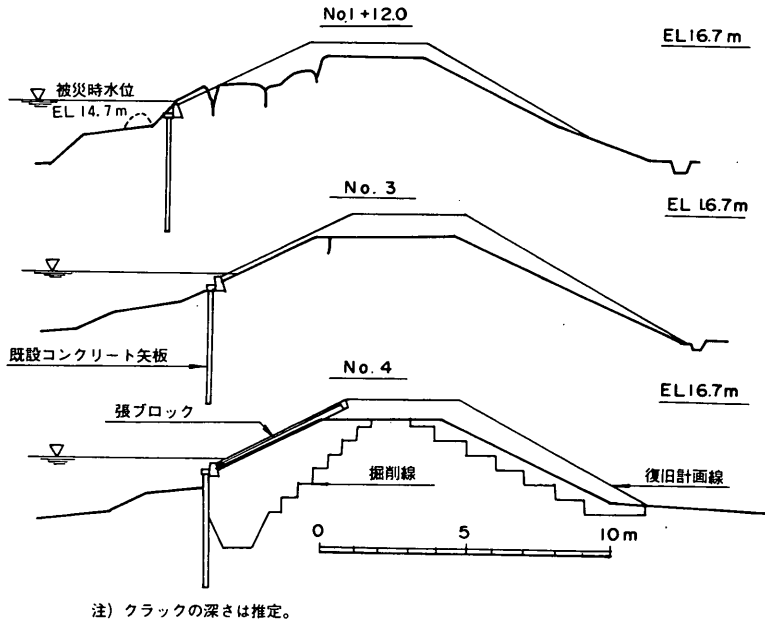


付図-31 勘助 (No.29)

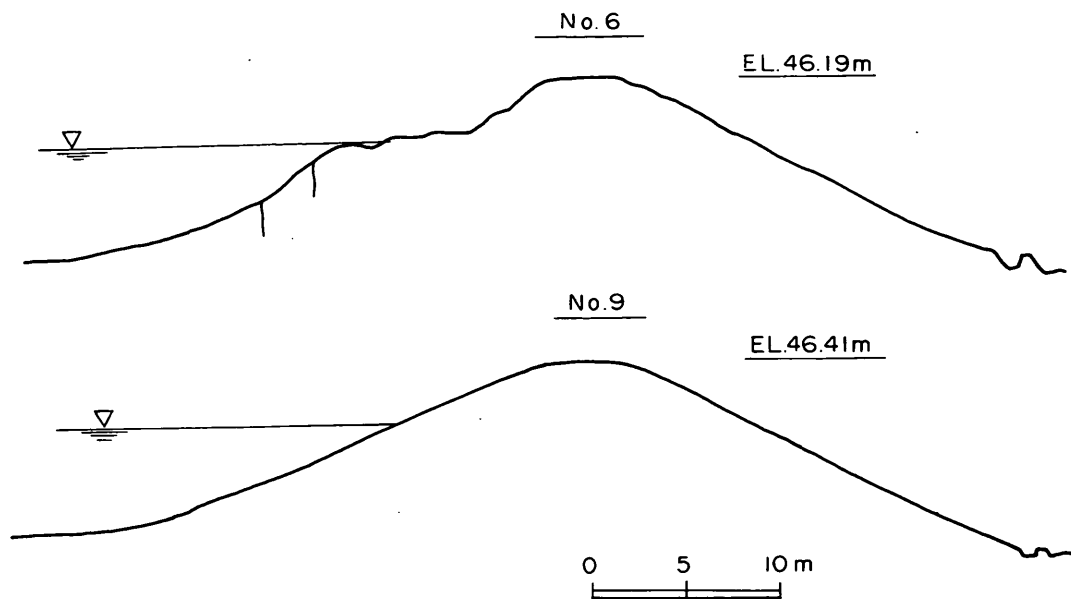
盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討



付図-32 カスベ (No.30)

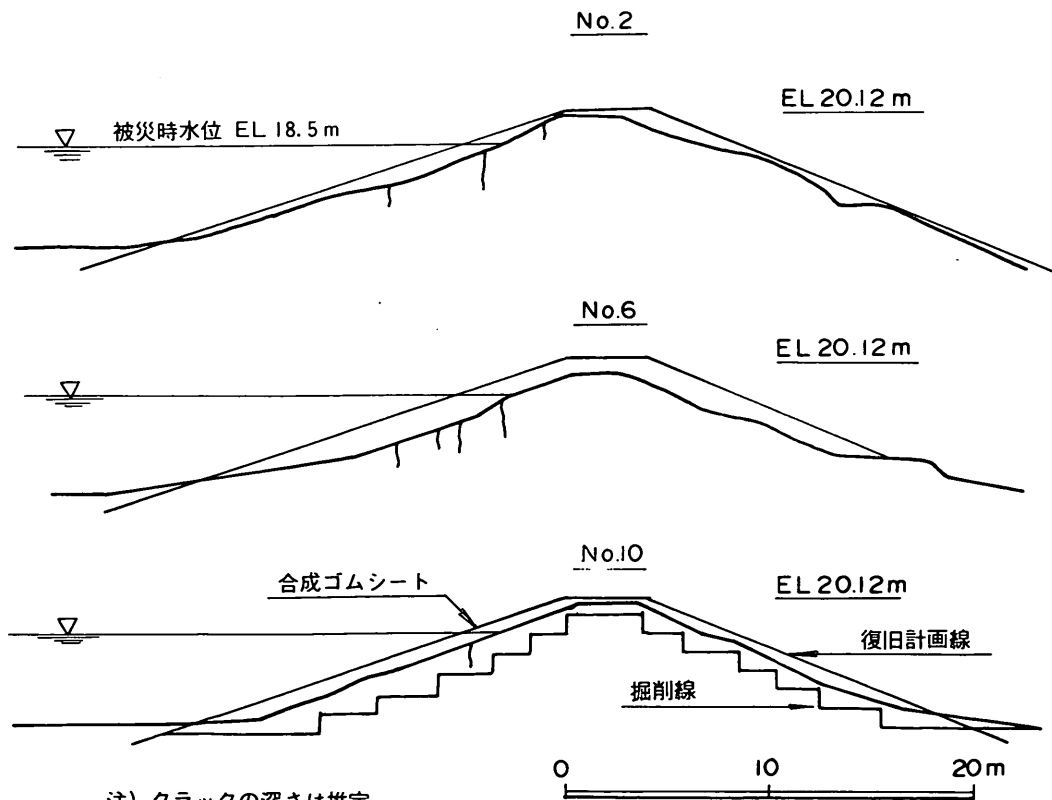


付図-33 山中 (No.31)



注) クラックの深さは推定

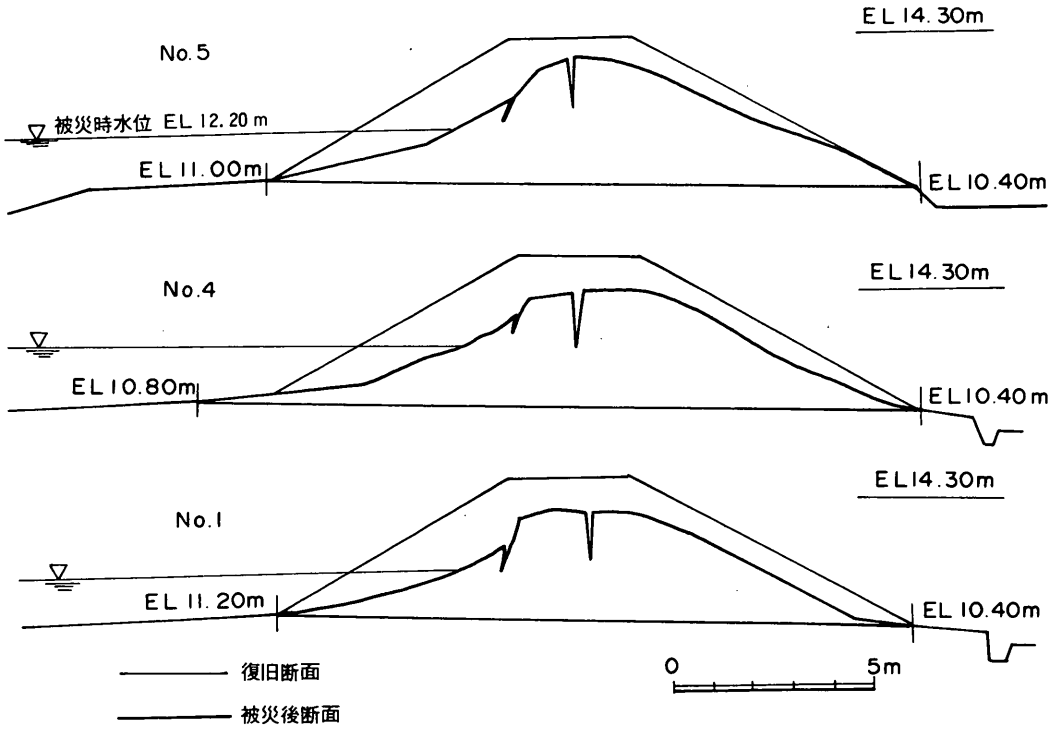
付図-34 泉 沢 (No.32)



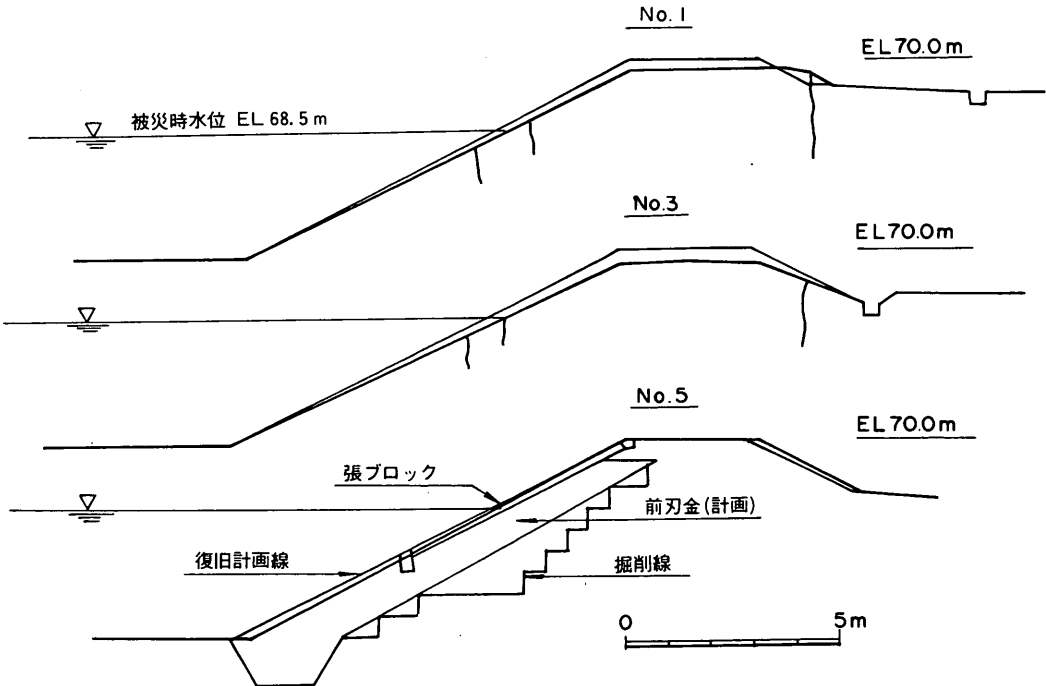
注) クラックの深さは推定。

付図-35 上の頭 (No.33)

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解折手法の検討

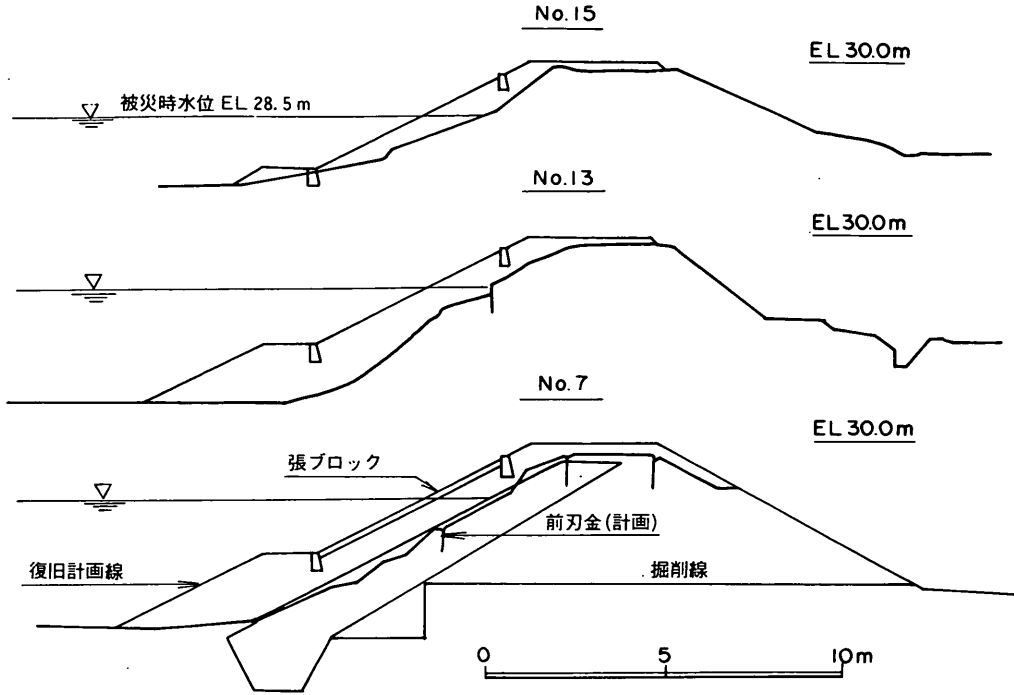


付図-36 竹の林 (No.34)



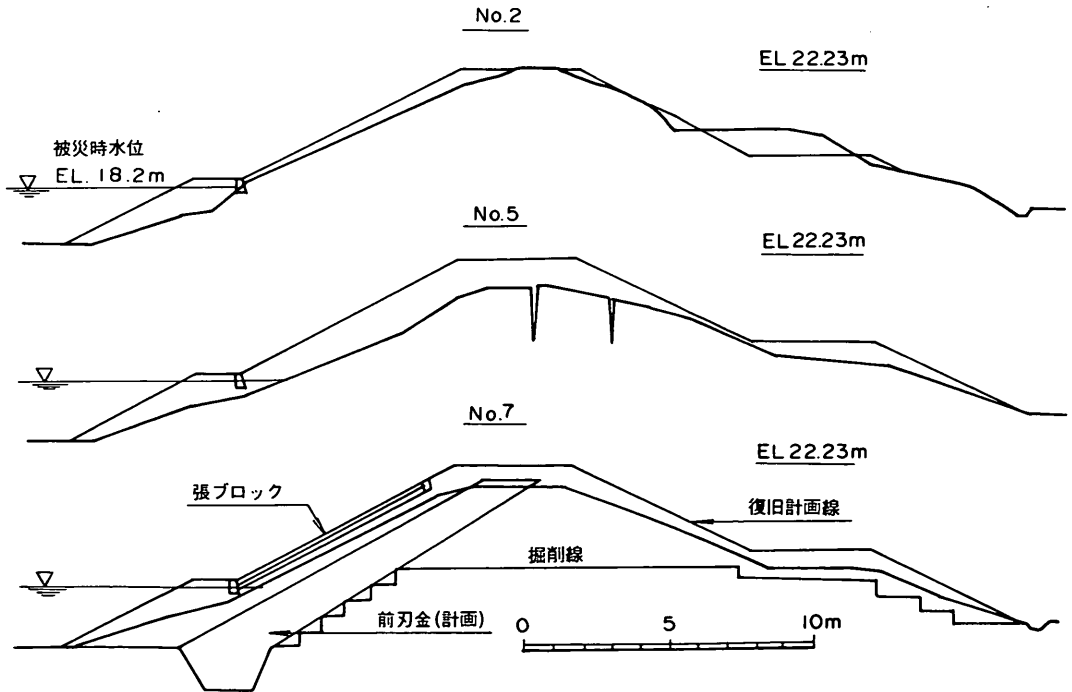
注) クラックの深さは推定。

付図-37 下杉2号 (No.35)



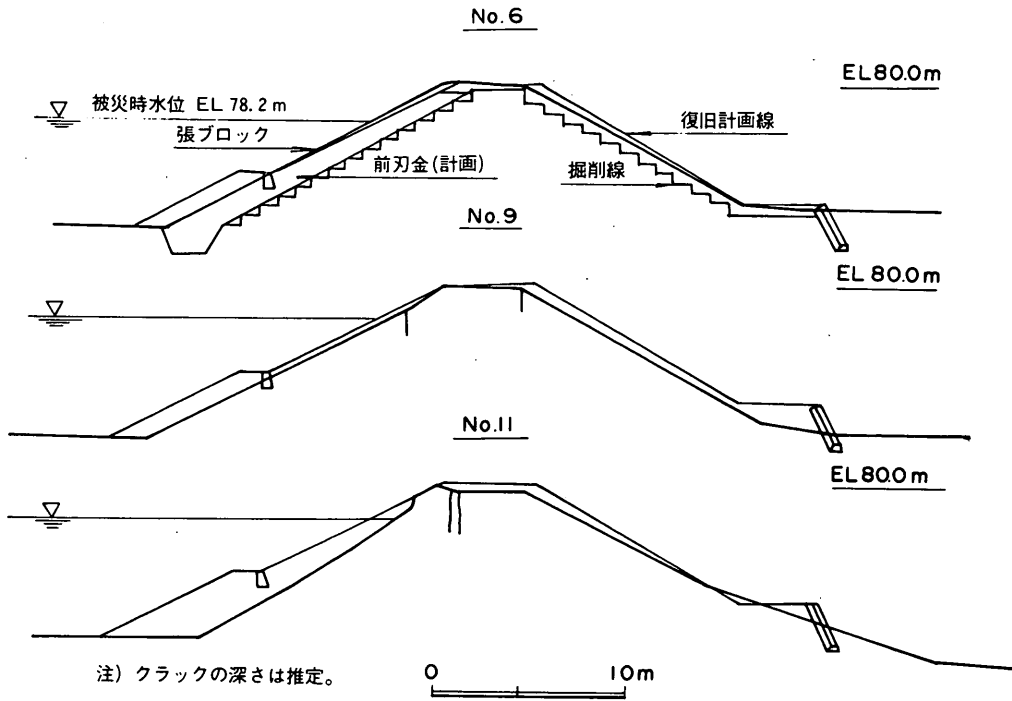
注) クラックの深さは推定。

付図-38 牡丹 (No.36)

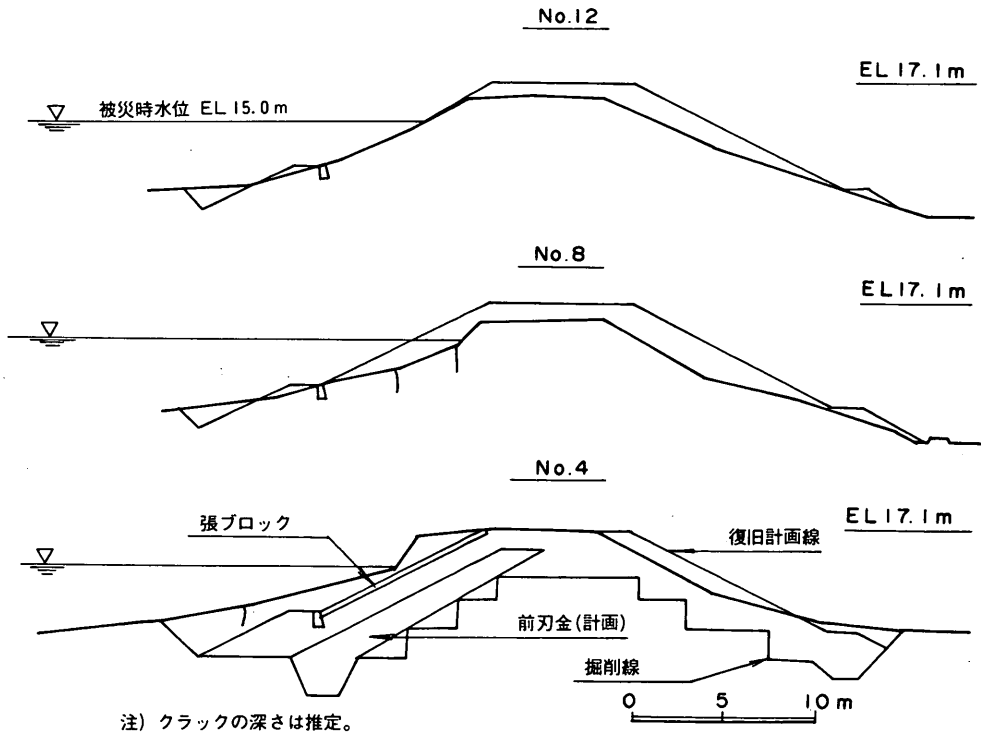


付図-39 挟間田 (No.37)

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解折手法の検討

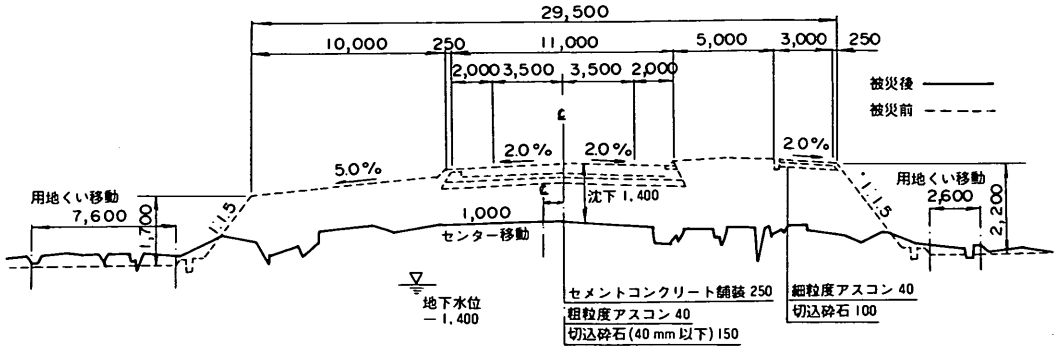


付図-40 上杉3号 (No.38)

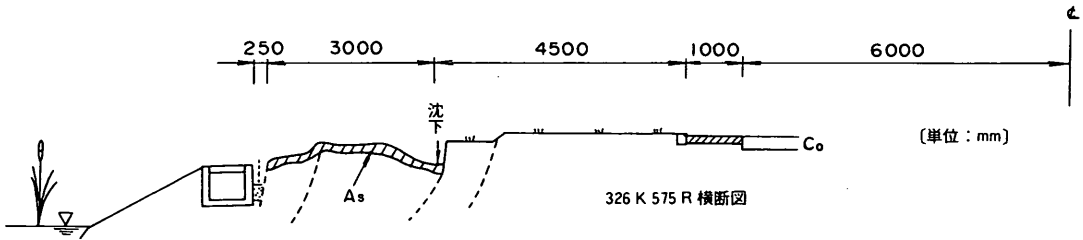


付図-41 小戸六 (No.39)

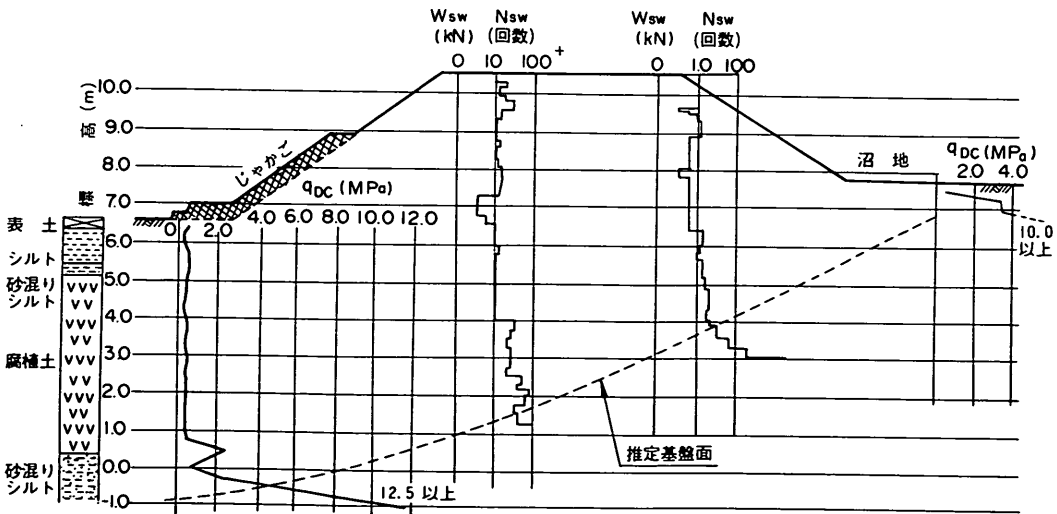




付図-42 浅内字出戸谷地 (No.40)

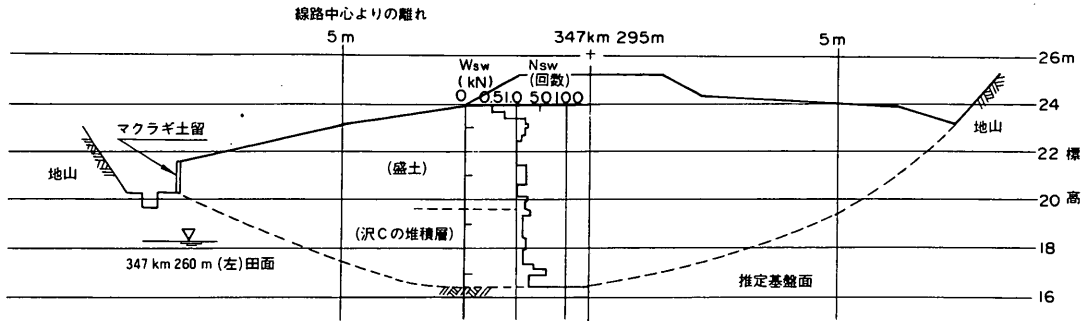


付図-43 浅内字赤沼 (No.41)

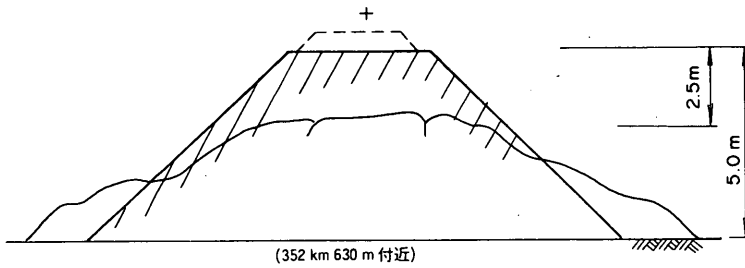
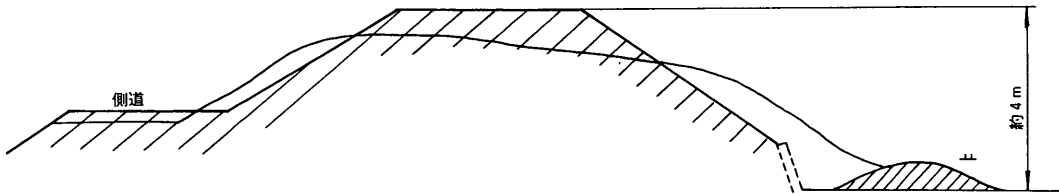


付図-44 鯉川・鹿渡 (No.42)

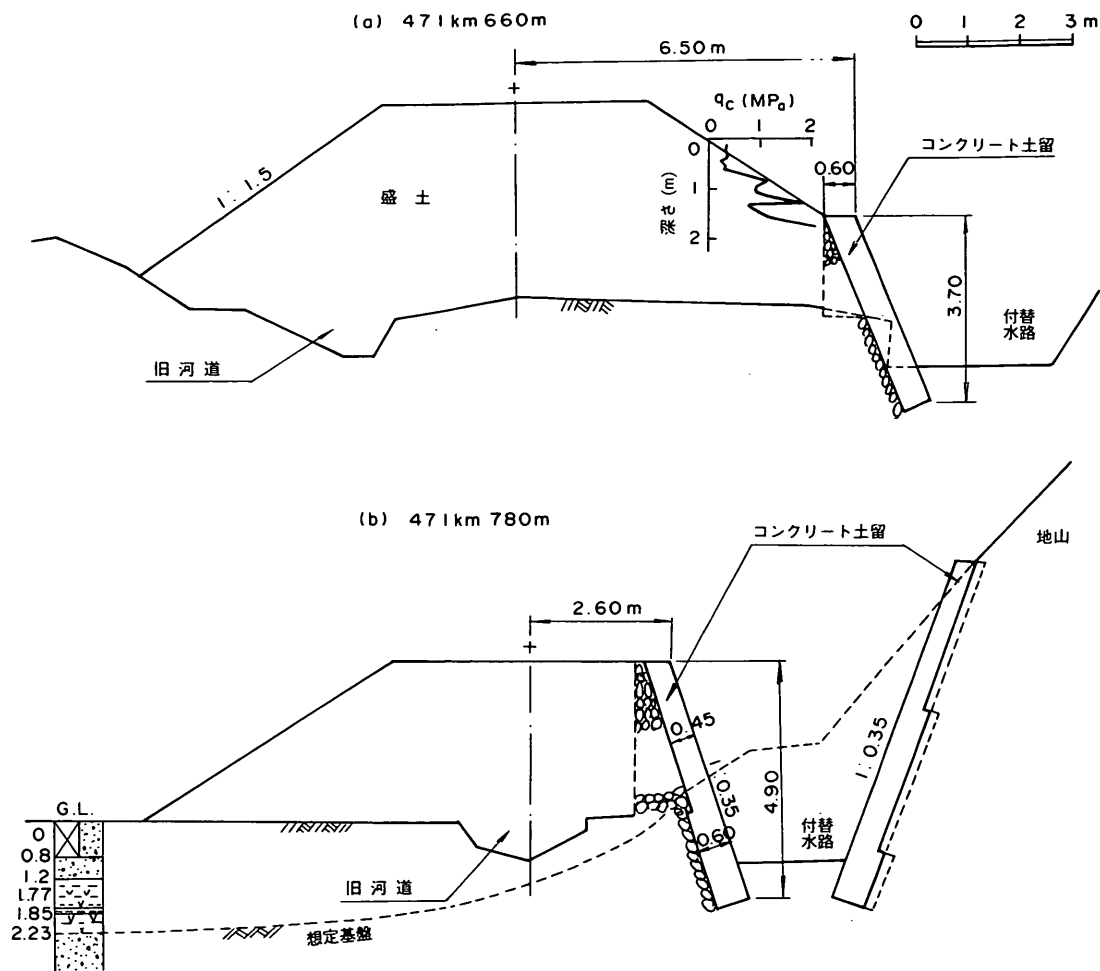
盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解折手法の検討



付図-45 森岳北金岡 (No.43)

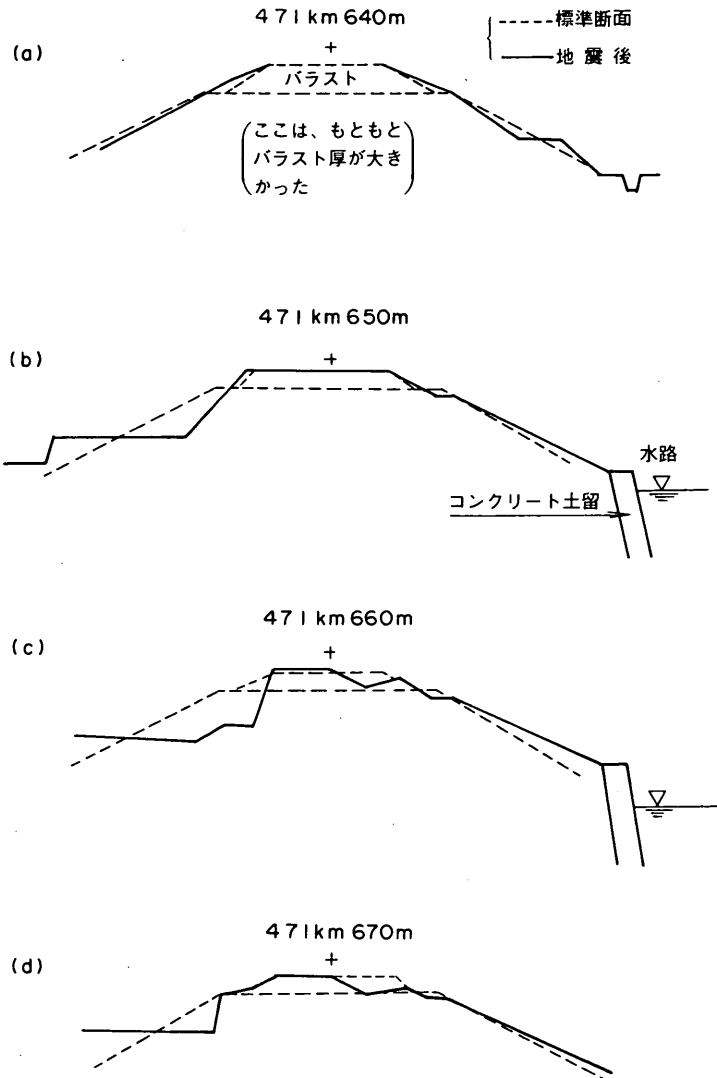


付図-46 南能代構内 (No.44)

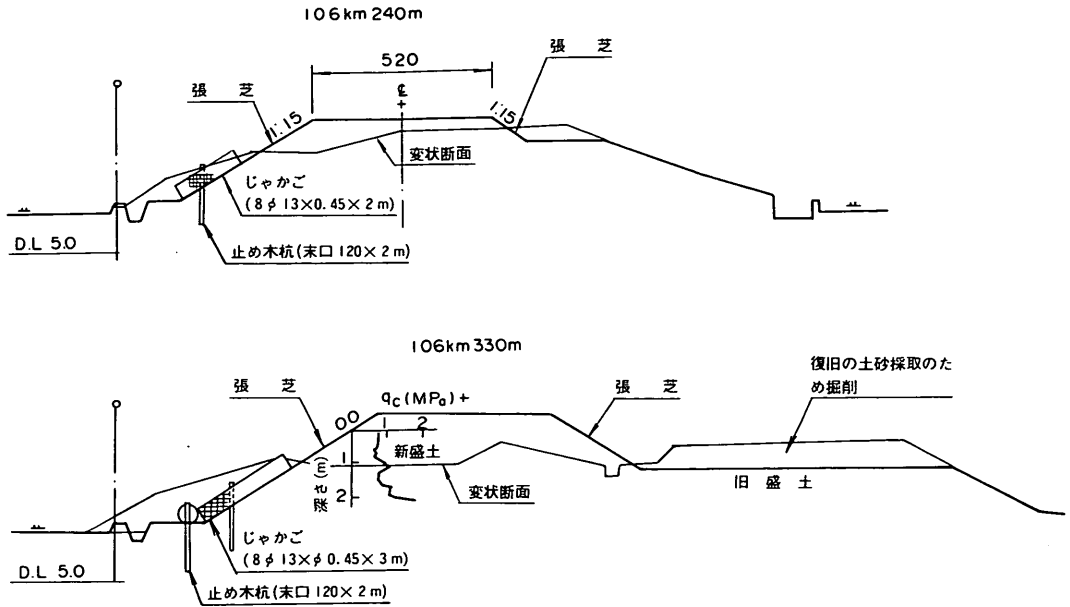


付図-47 大釈迦鶴ヶ坂 (No.45)

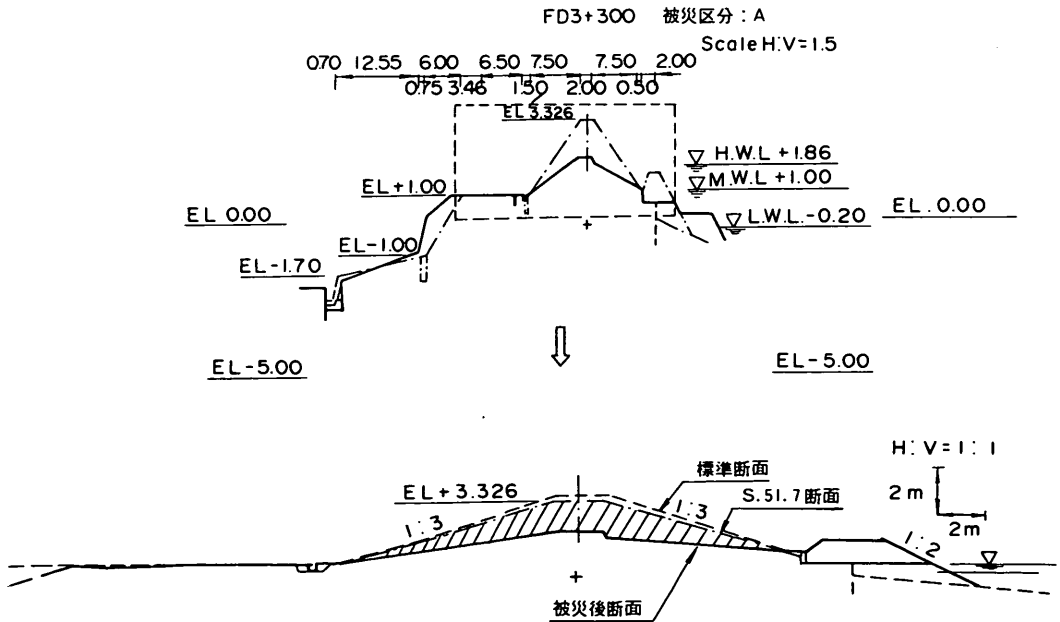
盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討



付図-48 大釈迦鶴ヶ坂 (No.45) 被災断面図

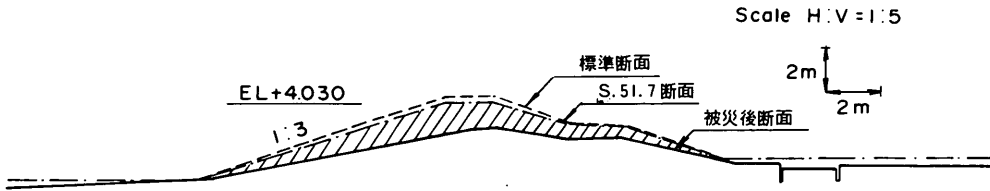
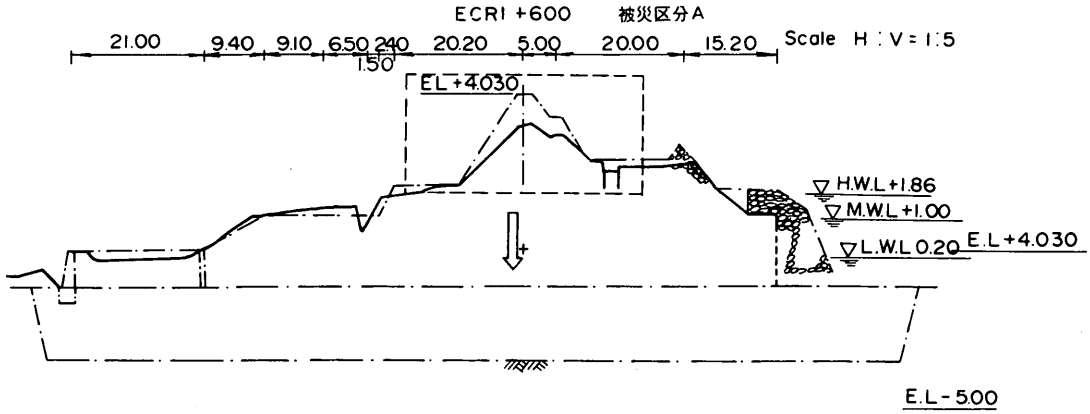


付図-49 鯉ヶ沢鳴沢 (No.46)

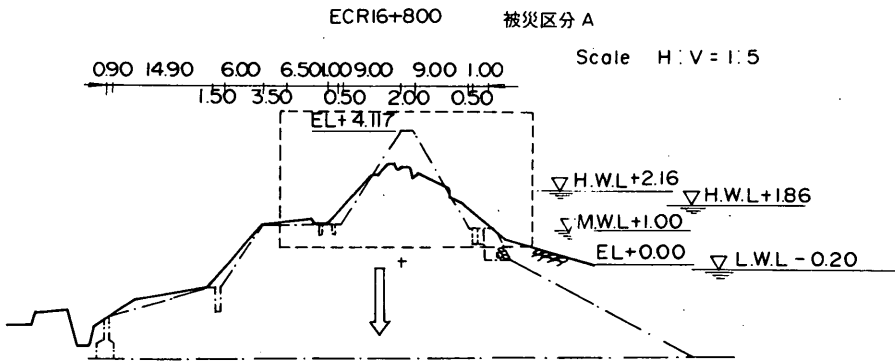


付図-50 秋田県大潟村正面堤防 (No.47)

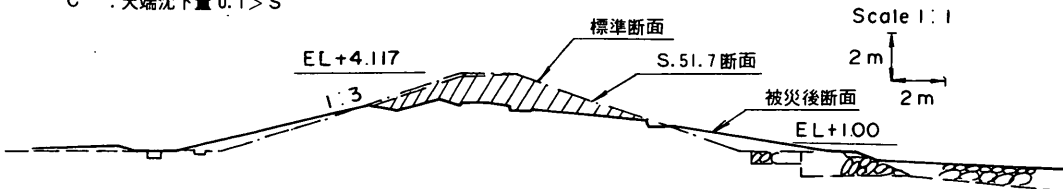
盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討



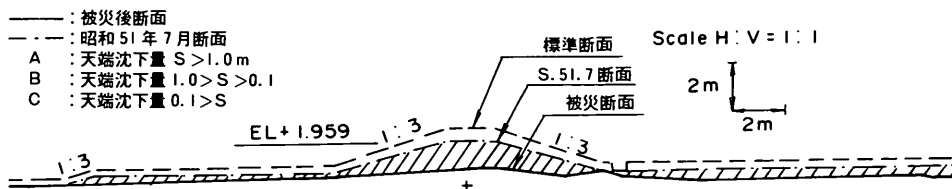
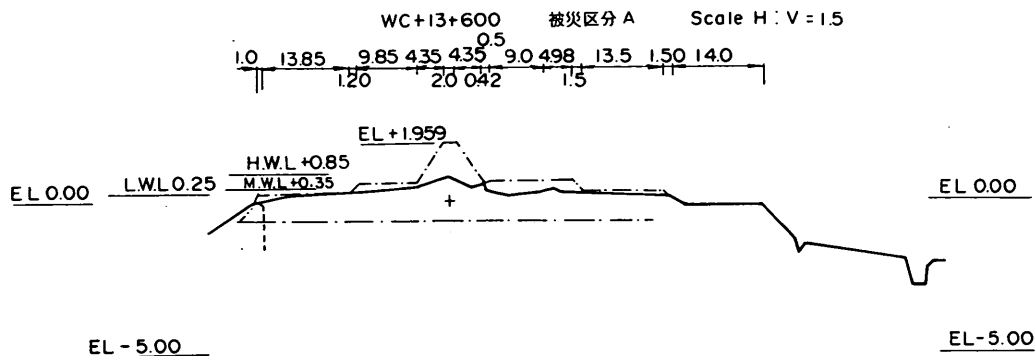
付図-51 東部承水路堤防 (No.48)



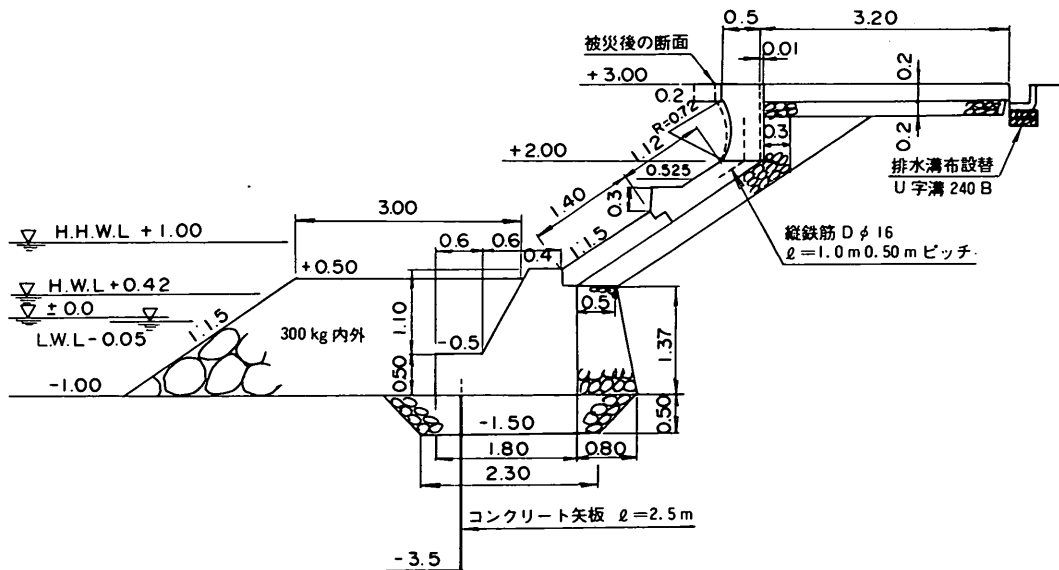
- : 被災後断面
- - - - : 昭和51年7月断面
- A : 天端沈下量  $S > 1.0$  m
- B : 天端沈下量  $1.0 > S > 0.1$
- C : 天端沈下量  $0.1 > S$



付図-52 東部承水路堤防 (No.49)

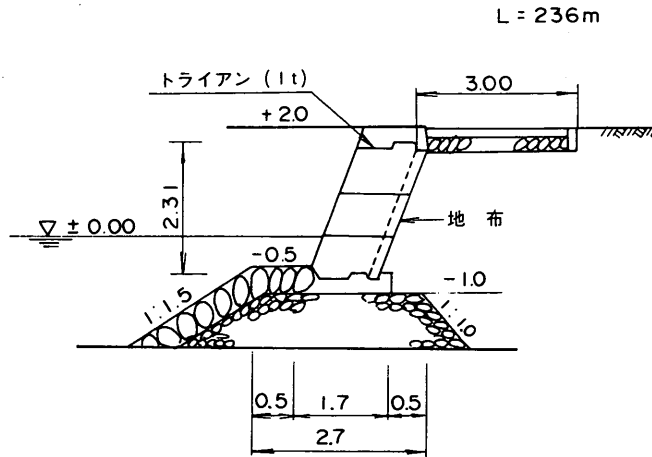


付図-53 西部承水路堤防 (No.50)



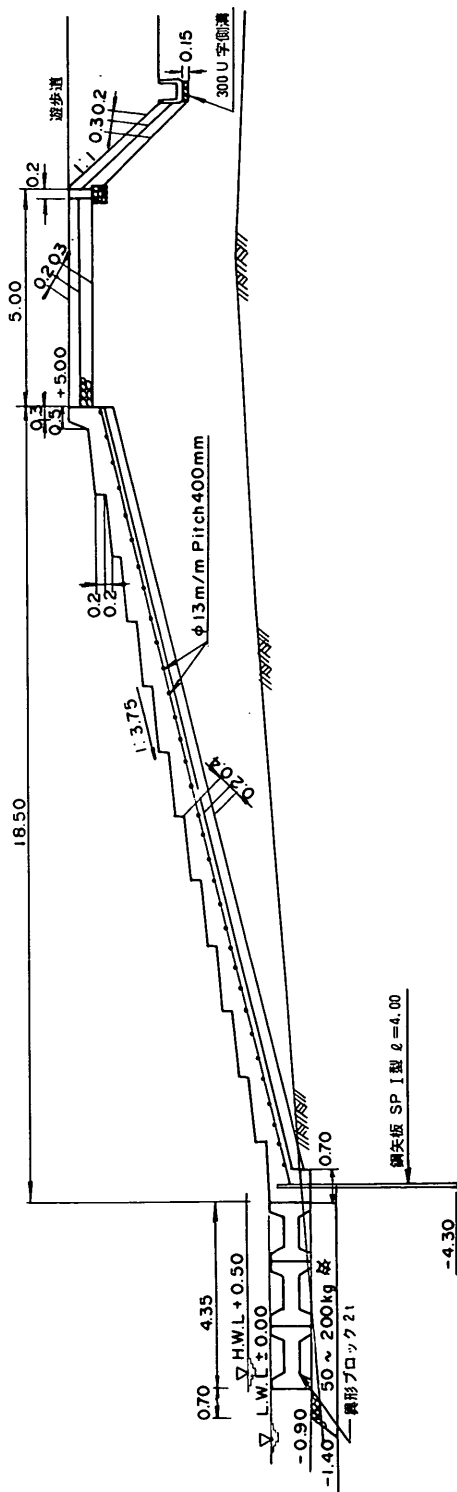
付図-54 船川港金川護岸 (No.51)

盛土の地震被災事例に基づく円形すべり  
安定解析手法の検討



付図-55 船川港埋立護岸 (No.52)





付図-56 本荘港階段護岸 (No.53)