

I—25 杭枠式消波構造物の力学特性に関する実験的研究

室蘭工業大学	正員	松岡 健一	同	田中 功
創建工業(株)	正員	石倉 建治		能町 曉彦
北見工業大学			正員	大島 俊之
苫小牧工業高等専門学校			正員	澤田 知之

1. まえがき

防波堤や河口の導流堤等は波力や地震力に十分抵抗できるものであると同時に洗掘に対しても十分安全なものでなければならない。この種の構造物としては重力式のものゝ一般的であるが、重力式の消波構造物は工事中に海象の影響を受け易く、構造上安定を増すためには工費も増大すると云う欠点がある。これらの問題点を軽減する意味で、杭枠式消波構造物が考えられている。この構造物は、杭で囲まれた枠組内部に石材等を中詰めしたもので、外力に対しては杭で抵抗し、中詰めは消波効果のみを有するものとして設計されているが、実際には中詰めは消波効果のみならず外力に対する抵抗も有すると考えられる¹⁾。一方この構造はこのままでは杭の引抜き抵抗力が小さいため実用化に難点があった。著者の一人はこれを改善する方法として、杭の水底地盤付近に若干の突起を付することにより、杭の引抜き抵抗力を増大すると同時に抵抗モーメントも増加させ得ることに着目し、その実用化を計り効果をあげている²⁾。しかしこれに対する理論的、実験的検討がこれまで十分に行なわれてはいない。本論文では、主として実験的な検討を行なうために、若干の模型実験を行ない結果を考察するものである。

2. 実験方法

1) 実験模型 杭枠式消波構造物は、一般的には図-1のような構造であるが、本実験では、実験上の制約もあり、実際の構造物とは異なるが単純化してこの一部分(図-1のλの部分)のみを取り出し、約1/10~1/20の模型を作成し、実験を行なった。模型の構造を図-2に示す。主杭は外径9.5mm内径7.5mmのアルミパイプ(弾性係数約800000.0kg/cm²、断面二次モーメント約0.02445cm⁴)で、中詰めを囲む枠材は外径6mmの亚克力棒(弾性係数約38000.0kg/cm²、断面二次モーメント約0.00636kg/cm⁴)を用い、杭の天端は場所打ちコンクリートの模型として厚さ2cmの亚克力板(弾性係数約38000

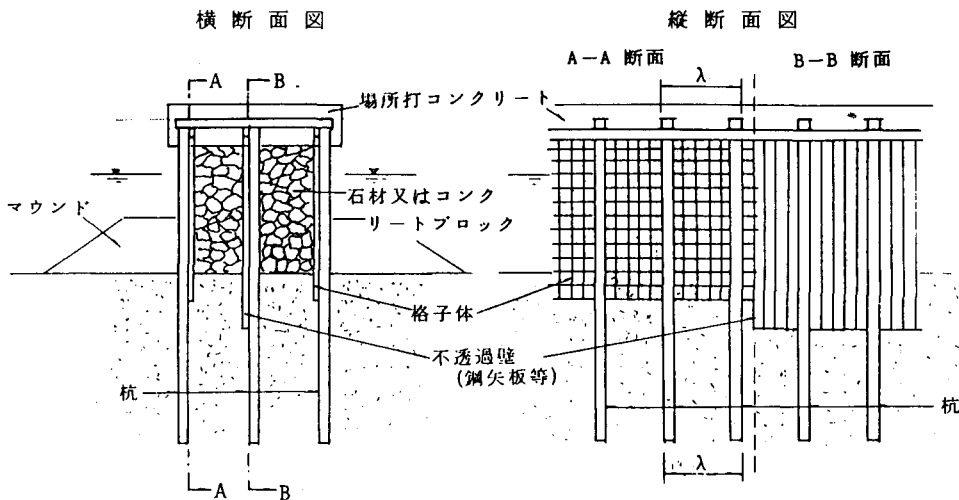


図-1 杭枠式消波構の概略図

.0 kg/cm² , 断面二次モーメント約 9.333 cm⁴) で連結している。杭の先端は、地盤中に打ち込まれていることを考え、前側2本はピン結合、他の4本は自由端とした(写真-1)。また杭の引抜き抵抗力を増大させるための水平突起物(ツバ)は、大きさ 2x4 cm のアクリル板に孔をあけ、前列及び後列のアクリル棒の棒材に通し、板の下側でピン止めして取り付けた。

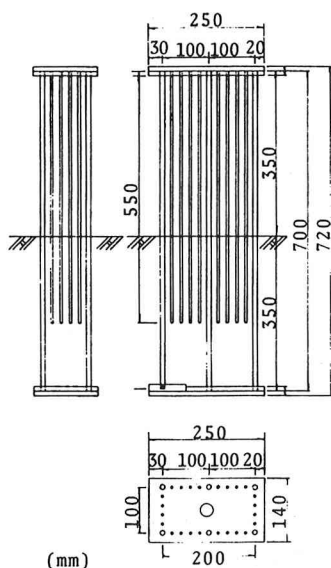


図-2 実験模型寸法図

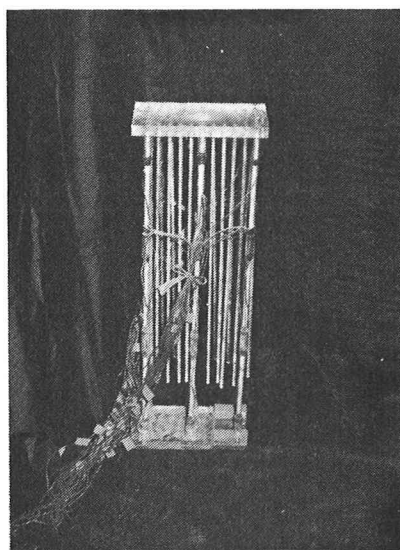


写真-1 実験模型

2) 実験装置及び荷重方法 実験は写真-2のように、鋼材で組立てた荷重装置に 44x70x41 cm の箱を作り、箱の中に地盤材料として人工軽量骨材メサライトを詰め、これに杭の半分迄を埋め込みセットした。荷重は天端にロードセルを介して水平方向力を与える方法による。

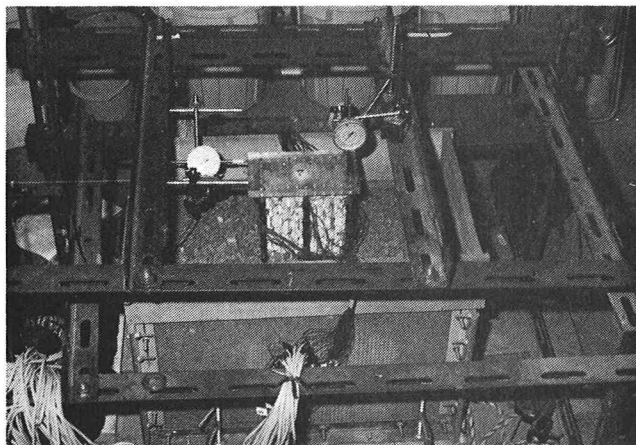


写真-2 荷重装置

また測定は、図-3及び写真-3に示すようにダイヤルゲージとストレインゲージにより、天端前面の水平変位と後杭の鉛直変位及び杭の三等分点のひずみを測定した。

3) 実験の種類 実験は消波構造物の模型実験の他、地盤の水平バネ定数の算定のため単杭の水平荷重実験及び杭の引抜き抵抗力の算定のための実験も合せて行なった。消波構造物の模型実験は、中詰め及び消波のためのマウンドに鉋滓を用い、中詰め、ツバ及び消波マウンドの効果を調べるため次の5種について行なった。

- i) 中詰めも消波マウンドもない状態、空の状態 (case-1)。
- ii) 中詰めだけの状態 (case-2.1)。
- iii) 中詰めにツバをつけた状態 (case-2.2)。
- iv) 中詰めとともに消波マウンドもつけた状態 (case-3.1)。

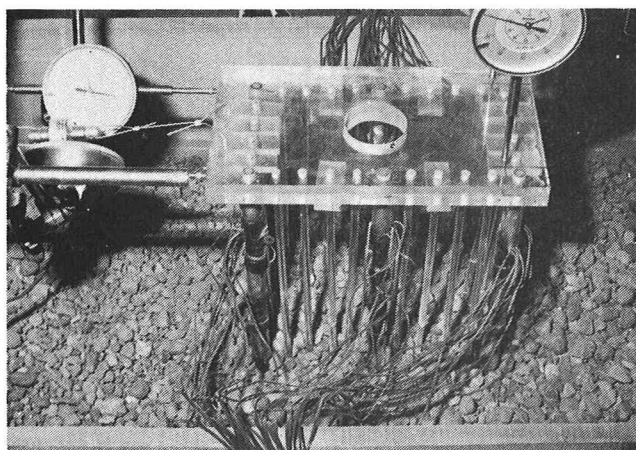


写真-3 変位測定状態

v) 中詰めに消波マウンドをつけさらにツバをつけた状態 (case-3.2)。

3. 実験結果及び考察

まず、地盤の水平バネ定数の算定のために行なった、単杭の水平載荷実験の結果を図-4に示す。杭の長さ、測定点などは図示のとうりであり、荷重1kgに対する杭の曲げモーメントの値を示している。また、地盤面下を弾性支承上のはりとして計算した結果を破線及び実線で示した。破線は計算上の地盤面を実際の地盤面にとったもの、実線は計算上の地盤面を若干下げたものである。実線の方が実験値に近いことがわかる。このときのバネ定数は0.1~1.0 kg/cm 位であり変化がないが0.2 kg/cm の値を図に示した。かなり良く実験値にあっており、この模型でのバネ定数はほぼこの位と考えられる。

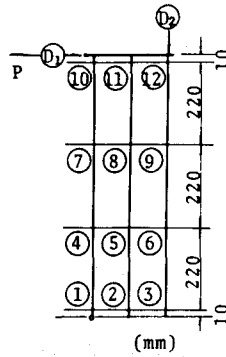


図-3 ゲージ位置図

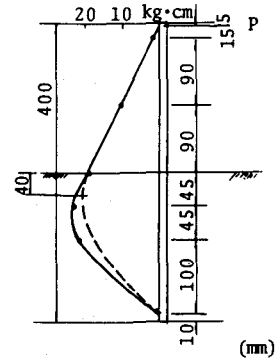


図-4 単杭実験

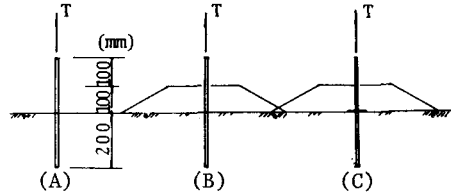


図-5 引抜き抵抗実験

表-1 引抜き抵抗実験結果

種 別	(A)	(B)		(C)	
		軽量骨材	鉾 砕	軽量骨材	鉾 砕
引き抜き力 (kg)	1.6	3.5	7.1	6.8	12.1

図-5および表-1に杭の引抜き抵抗力推定のための実験結果を示した。ツバの効果を検討するために、中詰めおよび消波マウンドの材料として軽量骨材と鉾砕の2種類を用いた。(B)の軽量骨材の場合は、埋め込み長さが30cmになった場合と同じであり、(A)の場合に比べ約2.2倍になっており、杭の引抜き抵抗力が杭の周辺摩擦によるものだとすればはば妥当な結果である。マウンドは杭に作用する土圧を増加させ周辺摩擦力を増大させ、引抜き抵抗力を増大させている。ツバによる影響も大きく、やはりツバ上の材料の重量によって変わる。ツバによる引抜き抵抗力の増加は、軽量骨材の場合3.3 kg、鉾砕の場合4.9 kgであるが、これはそれぞれの単位体積重量が890 kg/m³ および1440 kg/m³ であり、マウンドの勾配が少し異なることを考えると、ほぼそれぞれの重量に比例していることがわかる。

模型実験は、水平変位と鉛直変位があまり大きくならない範囲 (水平変位約20mm, 鉛直変位約4mm以下)で行なったが、状況によっては荷重装置の関係からそれ以下で荷重を止めたものもある。結果を図-6~11に示す。

図-6は、各caseの荷重-水平変位曲線を示したが、いずれも荷重の小さい範囲 (約2kg以下) で線形性を示さず、特に中詰め、マウンド、ツメがある場合に著しい。これは、杭の引抜き抵抗の影響であり、荷重がある程度大きな (2~8kg) 場合にはほぼ線形を保っている。

図-7は、同様に鉛直変位を示したものであるが、この傾向は著しく、線形部分はほとんどないような状

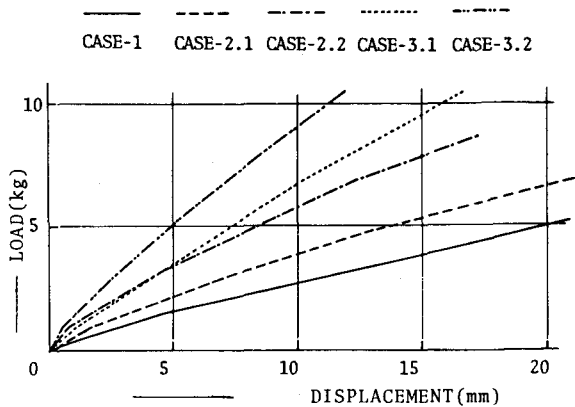


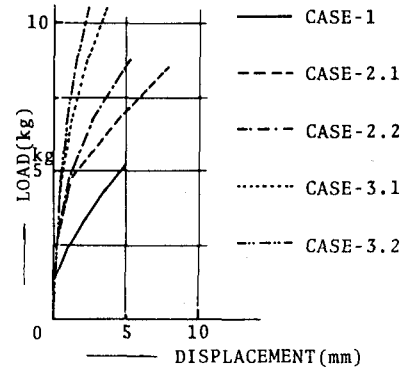
図-6 荷重-変位図 (水平変位)

態である。これは当然のことながら、引抜き抵抗力の影響が鉛直変位に対して大きいことを示している。

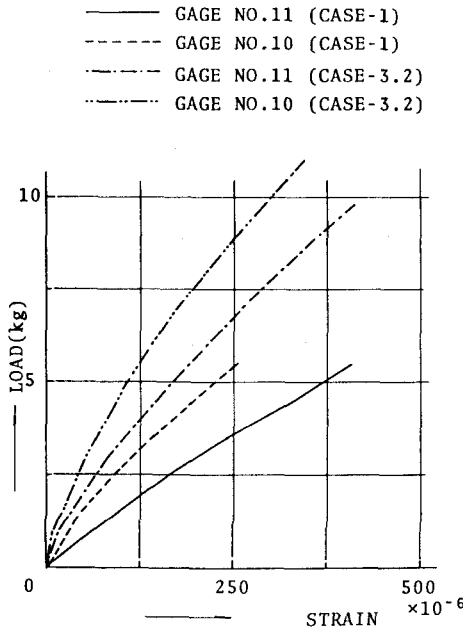
各状態ごとの変位の大小関係は、水平変位、鉛直変位とも
 $\text{case-1} < \text{case-2.1} < \text{case-3.1} < \text{case-2.2} < \text{case-3.2}$
 となり合理的な結果を与えている。

荷重—曲げひずみ曲線の結果の一部を図—8, 9に示す。図にはcase-1およびcase-3.2の場合のものを示した。図—8には前杭と中杭の天端付近（ゲージ番号10, 11）の曲げひずみの値を、図—9には前杭と後杭の地盤中（ゲージ番号4, 6）の値を示した。ひずみについても杭の引抜き抵抗の影響による非線形性が現われている。

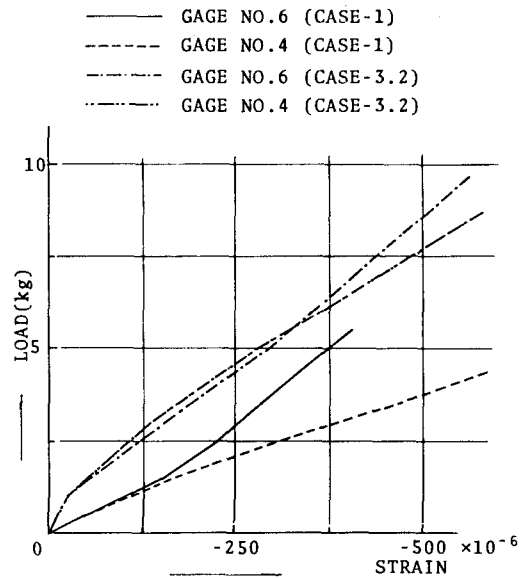
図—10には、単位荷重 1 kg に対する平均の曲げモーメント



図—7 荷重—変位図
 (鉛直変位)



図—8 荷重—ひずみ図 (その1)



図—9 荷重—ひずみ図 (その2)

の分布を示した。曲げモーメントは各杭の三等分点で測定した曲げひずみから求めた。図から全体として、天端では中杭の曲げモーメントが大きく、その他の点では 前杭 $\geq$ 中杭 $\geq$ 後杭 のようであるが、各状態によってかなり異なる。天端で中杭の曲げモーメントが大きいのは、アクリル板の剛性の影響と考えられる。case-1では特に地盤中での前杭の曲げモーメントが大きく、中杭、後杭とだんだん小さくなっている。これは先端の支持条件の違いによるものとともに、杭径および杭長に比べて杭間隔が小さいことから杭で囲まれた部分の地盤の一体化作用があると思われ、地盤の水平バネ定数を各杭同じようにとることによる影響と考えられる。

case-2.1はcase-1と比べてあまり大きな変化はないが、前杭の地盤面より上で割合大きな曲げモーメントの減少を示しており、中詰めによる外力の分担効果があることがわかる。この影響は地盤中ではあまりないようである。

case-2.2ではやはり前杭でその変化は大きい、地上部ではかなり曲げモーメントが減少し、地盤中でも 2/3 程度に減少している。これは、ツバに作用する中詰めの重量が外力に抵抗する力となって、杭に作用するモーメントが低下することによるものと思われる。

マウンドを設置した場合、それぞれの杭の曲げモーメントはかなり平均化し、その効果は大きい。この実験ではマウンドを積み上げることにより、埋め込み長さが増大したような効果を示している。また、ツバをつけた場合case-3.2では、各杭の曲げモーメントは、

最大値は平均化しているが、ツバの効果より、マウンドの効果の方が大きい。図-5からも明らかなようにツバをつけることにより、またマウンドを付すことにより、鉛直変位は減少し、杭の先端支持条件の違いによる影響は小さくなり、各杭の曲げモーメントは全体としても平均化してくると思われる。

この実験では、杭の最大曲げモーメントの値は、ツバをつけることにより約 2/3に、消波マウンドをつけることにより約 1/3に減少している。また、地盤より上の部分の曲げモーメントは、ツバやマウンドにより

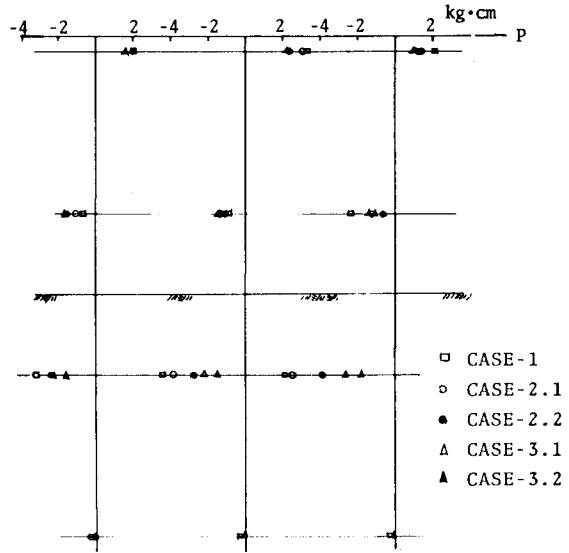


図-10 曲げモーメント (実験値)

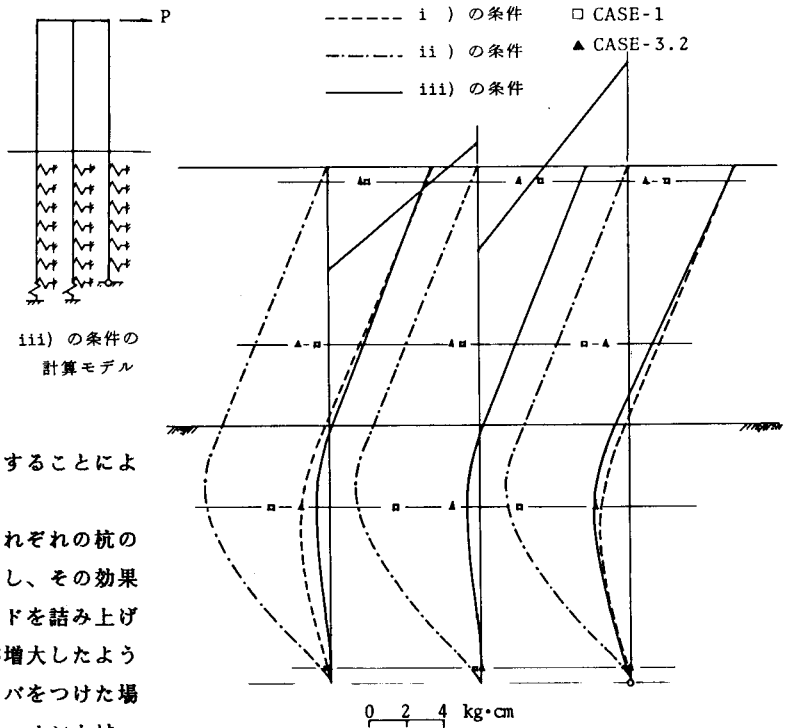


図-11 曲げモーメント図 (計算値)

前杭の曲げモーメントを減少し、中杭と後杭の曲げモーメントを増大させている。

case-1について、種々の条件により数値計算を行なった結果の比較を曲げモーメントについて行なったものを図-11に示した。計算では中詰め流出防止のための枠材は無視し、

i) 天端は固定、先端ヒンジ支持とした場合

ii) 天端、先端ともヒンジ支持とした場合

iii) 天端は厚板に埋め込まれ、前杭の先端はヒンジ他はバネ支持とする場合として計算した。

実際の構造物は、鋼杭を場所打ちコンクリートで固定しているので、i)の状態または、iii)の状態に近いと思われるが、模型はアルミパイプをアクリル板に孔をあけて埋め込むと云うことで、完全に剛ではないと考えられるので、ii)の条件でも計算を行なった。

実験結果も合せて示したが、この結果からは、天端の条件は完全な剛結からはかなりはずれて、ヒンジ結合との中間的な値となっている。このことは各杭とも多少の相違はあっても同様である。地盤中の杭の曲げモーメントは、前杭では ii)の方に近く、中杭でも ii)の方に近いが、後杭では i)の条件で計算した値に近い。また、陸上部での曲げモーメントの傾きから、実験値では各杭の外力の負担割合に相違があり、前杭で大きく、後杭で小さくなっていることがわかるが、この結果の傾向は iii)の条件に近く、先端の支持条件の影響が現われている。

case-3.2の実験値も合せて示してあるが、もちろん計算値とはかなり異なっており、中詰め等の影響を考慮して解析しなければならないことが明らかである。

4. まとめ

杭枠式消波構造物の力学特性を検討するため、若干の模型実験を行ない考察した。この種の構造物は、鉛直変位が生ずることは望ましいことではないが、中詰めや水平突起物の影響を調べるために、鉛直変位をある程度許す範囲で実験を行なった。結果の検討は、鉛直変位が生じている状態を中心に行なったが、この実験結果から以下のことが明らかとなった。

i) 杭枠式消波構造物では、中詰めによってもかなり外力に抵抗することができる。

ii) 引抜き抵抗を増加させる目的で取付けた水平突起物は鉛直変位を減少しており、確かにその効果が確認された。また、これにより杭に及ぼす外力の作用を軽減出来ることも明らかとなった。

iii) 数値解析の結果、杭の天端の固定条件、先端の支持条件、地盤の水平バネ定数の評価などに検討を要することがわかった。

以上のことから、今後模型の大きさ、地盤条件などを変えて実験を行なうと同時に、中詰め、水平突起物などの影響を考慮した解析を行なう予定である。

本研究を進めるに当たり、実験及び数値解析に有益な助言をいただくとともに、数値解析の一部を行なっていただいた開発局土木試験所 吉田紘一氏に謝意を表します。また、本研究の模型実験は、昭和60年度の室蘭工業大学土木工学科の卒業研究の一部として行なったものであり、実験を担当した小屋松秀行、矢野裕則両君にも謝意を表します。

なお、本研究は昭和60年度北海道科学研究費補助金を受けて行なわれたものであることを付記致します。

※ 参考文献

- 1) 能町純雄：杭打式消波構造物における力学的研究，昭和54年3月
- 2) 石倉建治：稚咲内港の改修工事，土木施工，23巻2号，昭和57年2月
- 3) 松岡健一，松本 隆，田中 功：中詰めを有する鋼製枠組の模型実験について，土木学会北海道支部論文報告集，第37号，昭和56年2月