

II-7 ゴムシートで被覆した堤体斜面への 波のはい上り予測

北海道工業大学 正員 村木 義男
北海道工業大学 正員 浜地 祐宏

1. まえがき

近年、老朽化した貯水池の水漏れ防止工法の一つとして、堤体斜面をゴムシートで覆う方法が採用されてきた。また、この方法は、砂漠地帯につくられる用水路の水漏れ防止工法としても使われている。斜面をゴムシートで覆った場合、ゴムシート面が滑らかであるだけに風によって生じた波が斜面へ高くはい上るのではないかと心配が生ずる堤体斜面をゴムシートで被覆する場合、天端高をどのくらいにすればよいか、関係者から緊急を要する問題として提示された。

波のはい上りに関しては、既に多くの研究があり、水理公式集等にも指針が示されているが、斜面粗度を十分に考慮に入れた式もしくは図表は示されていないようである。より直接的な見積り方法が必要であるということから、株式会社三ツ星ベルトと内外エンジニアリング株式会社がその研究実施を依頼してきたものである。

実験は、粗度8種、斜面勾配3種について不規則波を用いて行なわれ、粗度とはい上り高関係等の考察により結論が導かれた。

2. 実験方法

(1) 実験水路

実験に使用した水路は、深さ1 m、幅60 cm、長さ24 mの両面ガラス水路である。一端に規則波発生用造波機、他端に不規則波発生用吸入式ファーン装置が設けてある。斜面部分には、風のバイパス回路が設けてあり、風の影響は除去されてある。図-Aに水路の様子を示した。

(2) 斜面

斜面は、厚さ12 mmの耐水ベニヤ板に、それぞれの材料を接着剤を用いはりつけたものである。

(3) 波高測定

沖波波高、斜面へのはい上りともに計測技研製容量式波高計を用い測定した。記録器には横河製電磁オシログラフを用いた。はい

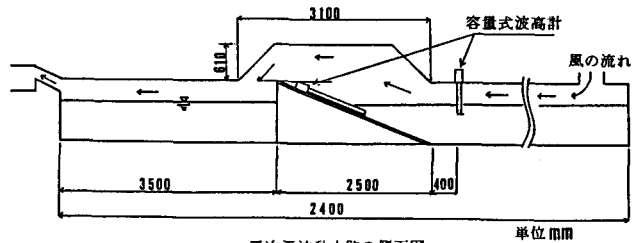
上がり測定には、振幅のみならず0線の変動も許されないので、キャリブレーションを頻繁に行ない、かつ、計器の取り扱いにはかなりの注意をはらった。

(4) 模型波

さきにも述べたように、用いた波は、風により発生した不規則波である。不規則波の特性を示す波高比の一つである有義波高と平均波高との比の値は、1.42である。理論的値は1.6であるから若干の差はあるが、目で見ると自然の波に近いものである。

(5) 測定値の処理

不規則波のはい上がりは、当然ながら不規則波となる。沖波波は1/3最大平均波高すなわち有義波高をもって示し、はい上り波については、1/3最大平均はい上り長（はい上り長：斜面にそってのはい上りの長さ）、1/10最大平均はい上り長、及び最大はい上り長の3種をもって示すことにした。



二次元波動水路の側面図

図-A

(6) 実験の種類

波の種類、斜面勾配の種類、斜面材料粗度の種類など本報告で行なった実験の種類を一括して示せば、次のとおりである。

波の種類 : 風波
 沖波の周期 : 0.25秒~0.7秒
 沖波の波行 : 1/3 最大平均波高で1cm~8cm
 斜面勾配 : 3種 (1:1.5 1:2.5 1:4)
 斜面材料粗度の種類: 8種 (いずれも不透過斜面)

- ① ゴムシート (三ツ星ベルト (株) 製)
- ② モルタル (普通のコテ仕上げ)
- ③ 砂 利 (粒径 3~5 mm)
- ④ 砂 利 (粒径 5~10 mm)
- ⑤ 砂 利 (粒径 0~15 mm)
- ⑥ 砂 利 (粒径 15~20 mm)
- ⑦ 砂 利 (粒径 20~25 mm)
- ⑧ 砂 利 (粒径 25~30 mm)

3. 実験結果と考察

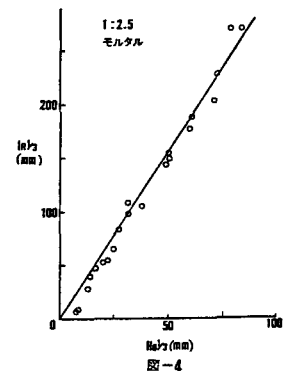
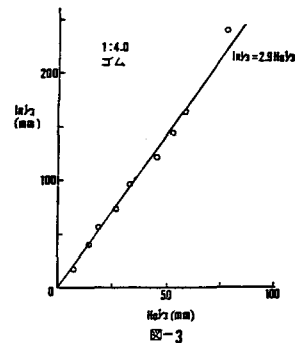
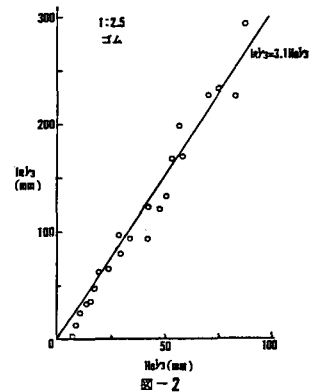
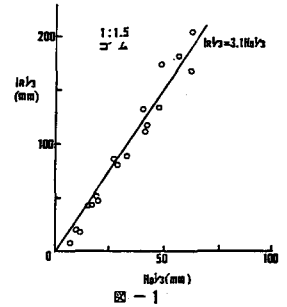
測定データを用い、要素間の関係を示す幾種類かの図を描いたが、図中に示される記号を一括してここに示すと次のとおりである。

$H_0/3$: 沖波 1/3 最大平均波高
 l_R : 斜面沿いのはい上り長
 l_{Rmax} : 最大はい上り長 (一回の観測における)
 $l_R/10$: 1/10 最大平均はい上り長
 $l_R/3$: 1/3 最大平均はい上り長
 H_R : はい上り高
 H_{Rmax} : 最大はい上り高
 $H_R/10$: 1/10 最大平均はい上り高
 $H_R/3$: 1/3 最大平均はい上り高
 d : 斜面材料の平均粒径 (単純平均)

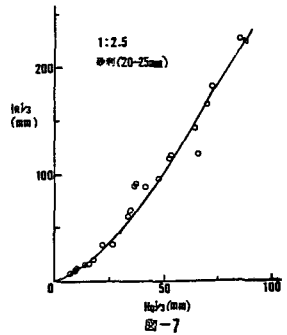
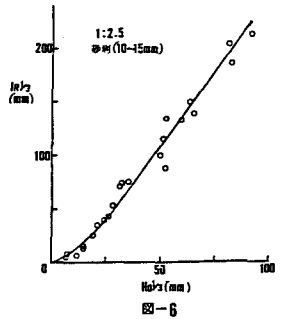
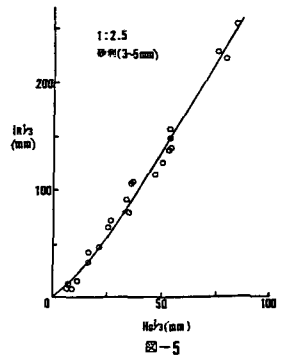
紙面数の制限もあり、主ないくつかの図を示し考察をすることにする。

(1) 沖波波高とはい上り長との関係

ゴムシートで被覆した斜面について、沖波波高と斜面へはい上り長との関係をしらべ結果を図-1~図-3に示した。それぞれ斜面勾配 1:1.5, 1:2.5, 1:4 に対するものである。これからわかるように、いずれの斜面勾配についても、かなりよい直線性を示めている。しかも原点0を通る直線とみてよいようである。しかし粗度 ($d/H_0/3$) が大きくなると、直線性は次第に悪くなっていく。この様子を斜面勾配 1:2.5 の場合を例にとってみることにする。図-4~図-7は、それぞれ斜面がモルタル、砂利 (3~5 mm)、同 (10~15 mm) の場合の関係を示したものである。モルタルの場合、ゴムシートに近い直線性を示しているが、斜面の砂利粒径 (粒度) が大きくなるとそれにつれて逐次直線性が悪くなっていることがわかる。しかしよく見ると、それぞれある範囲の小さな波に対しては曲線をなすが、それ



以上の大きな波に対しては、直線的関係をなすとみてよいようである。曲線をなす範囲は粒径が大きい程大である。また、ゴムシートの場合もモルタルの場合もよく見ると、極く小さい範囲で曲線をなしている。以上述べたことから、ゴムシートについてこの実験で得られた直線的関係は、ゴムシートの実物斜面においてもかなりよくあてはまるものと判断される。それぞれの粒径の斜面についても、直線部の延長はそれぞれの場合の実物に適用できる可能性が大きい。

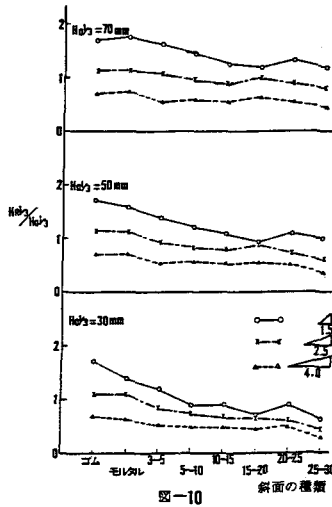
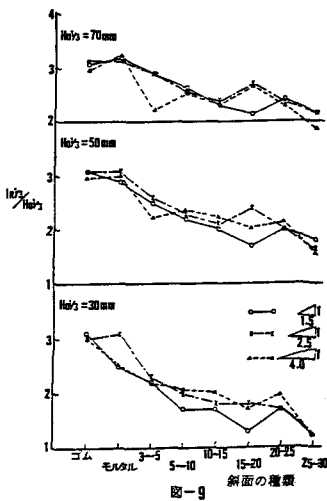


(2) 斜面勾配とはいり長との関係

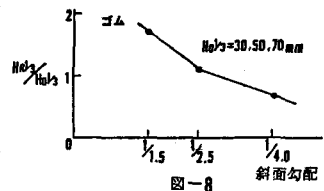
(1) で述べた沖波波高とはいり長との関係を示す曲線を用い、沖波波高 ($H_0/3$) がそれぞれ 3, 5, 7 cm なる場合のはいり長を全種斜面について求め、斜面勾配のちがいによるはいり長の違いを調べた。その結果は図-8 のとうりで、これによると、勾配が 1:1.5, 1:2.5, 1:4 の範囲では、勾配が違ってはいり長は余り変わらないという結果が得られた。特にゴムシートの場合はその差は小さい。このことが実物においても成り立ったかについては、今後の検討が必要であろうが、成り立つとすれば大変都合のよいことで利用性があり、興味もたれる。

(3) 斜面勾配とはいり高との関係

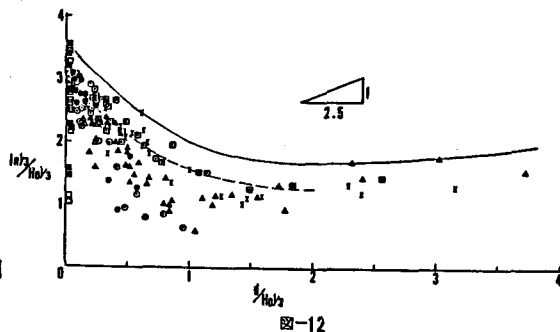
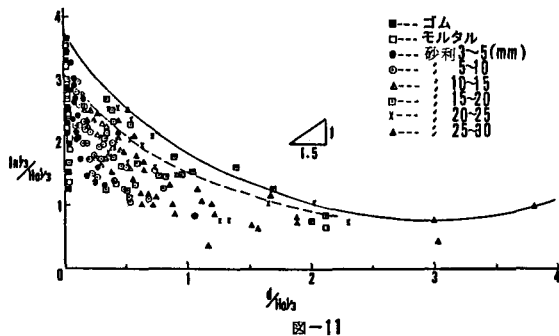
(2) で述べたことから容易に予想されるとおり、はいり高については、勾配の違いによる違いが明らかに示される。図-9, 図-10 にその結果を示す。



(4) 粗度 ($d/H_0/3$) とはいり長との関係を無次元表示の形で図-11~図-13 に示した。図は 1/3 最大はいり長についての結果である。いずれの勾配の場合も、はいり長が最小を示す粗度の領域があり、これを界に、粗度が小さい領域では粗度が小さい程はいりが大きく、逆に粗度が大きい領域では粗度が大きい程はいり長が漸増す傾向が明確にみられる。最小領域の存在はいり抑制に最も効果的な粗度の存在を意味する。プロットされた点を全て包含する最大限界線を引くと図のようになる。この限界線の延長と縦座標軸との交点の値をゴムシートの場合のはいり長の最大限界値とみて不自然ではない。本報告では、はいり予測にこの考え方をを用いることにした。この値は、種々

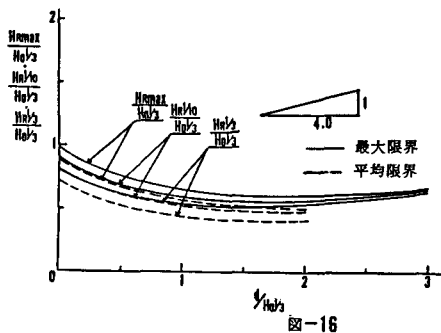
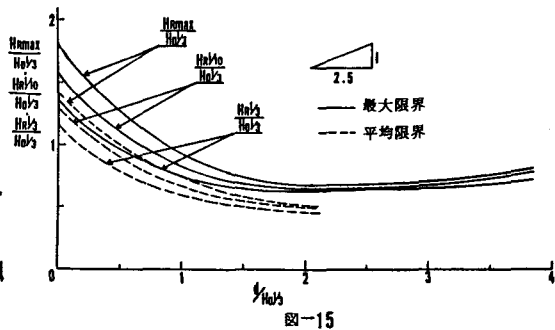
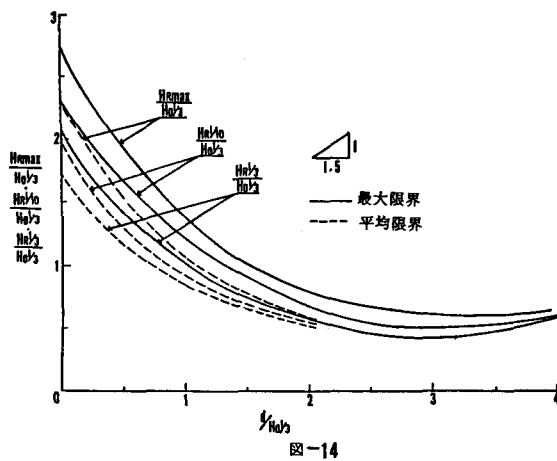
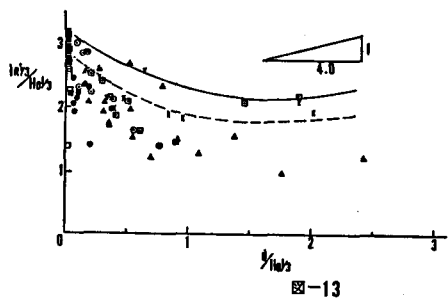


の粗度全ての測定値による全体的傾向から得られるものであるから、かなり確かなかつ安全側の値を与えてくれるものとする。図中の破線は、沖波波高とはいり長との関係を示す図（図-1～図-7がその例）における平均関係曲線を用い求めたものである。実験誤差測定誤差など考えるとき、この値の方が適切な値を示すものとする考えがあくまでも安全側となると、最大限界線による値を採用することになる。



4. ゴムシートで被覆した斜面へのはいり高の予測値

これまでに述べたはいり特性を根拠に、本報告には載せなかった多くの同種関係図を併せ用いて得た、はいり高予測図を図-14～図-16に示した。



これによると、ゴムシートで被覆した堤体斜面への波のはい上り高の予測値として、次表のように示すことができる。なおはい上り長についても併せ示した。

斜面 勾配	はい上り長 ($l_R / H_0/3$)			はい上り高 ($H_R / H_0/3$)		
	1 : 1.5	1 : 2.5	1 : 4	1 : 1.5	1 : 2.5	1 : 4
最大値						
最大限界	5.0	4.9	4.1	2.7	1.8	1.0
平均限界	4.1	3.9	3.7	2.3	1.4	0.9
1 / 10 最大平均値						
最大限界	4.2	4.3	3.6	2.3	1.6	0.9
平均限界	3.6	3.5	3.3	2.0	1.3	0.8
1 / 3 最大平均値						
最大限界	3.7	3.6	3.2	2.1	1.3	0.8
平均限界	3.1	3.1	2.9	1.7	1.2	0.7

最大限界：図-11～図-16の実線から求まる値

平均限界：図-11～図-16の破線から求まる値

最も安全側にたてば、最大値の最大限界の値をとり、勾配 1 : 1.5 の場合で沖波波高の 2.7 倍、勾配 1 : 2.5 の場合で 1.8 倍、勾配 1 : 4 の場合で 1 倍の天端高（水面上）をとることになる。また最大値の平均限界の値をとれば、1 : 1.5, 1 : 2.5, 1 : 4 夫々の勾配に対し沖波波高の 2.3 倍、1.4 倍、0.9 倍、をとることになる。また少しゆるめて 1 / 10 最大平均はい上り高を設計はい上り高とし、かつ、平均限界線により求めると、1 : 1.5, 1 : 2.5, 1 : 4 の各勾配に対し、沖波波高の 2 倍、1.3 倍、0.8 倍の高さとなる。

5. あとがき

この実験は、実際の要求から、三ッ星ベルト株式会社、内外エンジニアリング株式会社社者の依頼により行ったものである。研究の機会を与えてくれた両社に対し、心から謝意を表するものである。得られた結果は有効に役立つものと期待している。