

伊勢湾台風時の和歌山県下の諸港湾における最大波浪の推定

永井 莊七郎*
有留 靖朗**

要 旨 伊勢湾台風の直後、和歌山県下の商港および漁港の被害状況を視察したもののうち、混成防波堤の直立部が滑動しているものについて、砕波による最大同時圧力の式から防波堤前面の最大波高を求めた結果を記したものである。その結果によると、同県下の外海に直面した防波堤においては最大波高は 5.5 m であったと推定される。

1. 緒 言

昭和 34 年 10 月下旬、和歌山県土木部河港課 覆本勝技師および水産課 山司三郎施設係長の案内で、同県下の商港および漁港における伊勢湾台風による被害の状況を視察した。その結果によると、一般に田辺湾から南、すなわち太平洋に直面している海岸では特に高潮および波浪による被害がはなはだしく、古老の言によると、生涯のうちで今回の高潮および波浪が最も大きかったとのことである。商港では新宮、宇久井、日置の諸港が相当な被害を受けているが、漁港では全漁港 98 港のうち 71 港が被害を受け、その被害の程度も商港にくらべて大きいようである。それらの漁港および商港の中から、混成防波堤の直立部がほぼ水平に滑動していた加太、矢櫃、江住および三輪崎の 4 港ならびに 1 部被害を受けた和歌山港について、防波堤前面における台風時の最大波高を推定した。これらの港湾においては台風時には波は砕波して防波堤に衝突したと考えられるので、砕波の最大同時圧力式¹⁾を用いて最大波高を算出した。これらの港湾における防波堤の天端高は、すべてが期望平均満潮面上 0.7~1.7 m という低いものであるので、広井式による波圧強度が直立部全体に一樣に働くとした波圧合力式を用いて求めた最大波高の値は、砕波の最大同時圧力式から求めた最大波高にほぼ近い場合もあるが(矢櫃港、江住港)、一般に過小の値を与え(天端が特に低い矢櫃港だけ少し大)、和歌山港および加太港では事実反した結果になった。

2. 潮位および風速

(1) 潮位の基準面

和歌山県では潮位の基準面(D.L.)は商港と漁港とにより異なったものを使用していたが、本文では和歌山港

において現在使用している D.L. に統一した。同港の D.L. は東京湾中等潮位下 1.044 m (昭和 30 年 4 月訂正)で、期望平均満潮面は D.L.+2.10 m、期望干潮面は D.L.+0.30 m を用いている。

(2) 台風時の潮位曲線

伊勢湾台風時の潮位記録は和歌山港²⁾、袋港³⁾(潮ノ岬の北側)および浦神港³⁾で自記されているが、袋港のものは 18 時 30 分以後は scale out している。和歌山港および浦神港における潮位曲線を示すと図-1のごとくである。

図-1 により明らかなように台風時の偏差は比較的小さく、和歌山港では最大偏差は 21 時から 22 時の約 50 cm、浦神港では 18 時の約 174 cm である。

図-1 (a) 和歌山港の潮位曲線

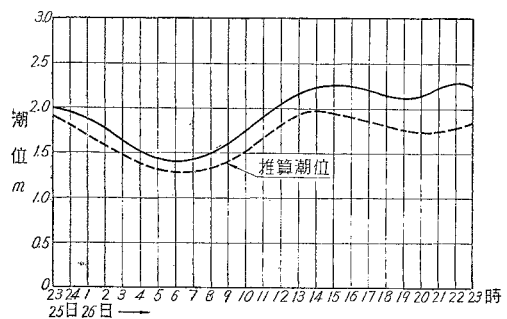
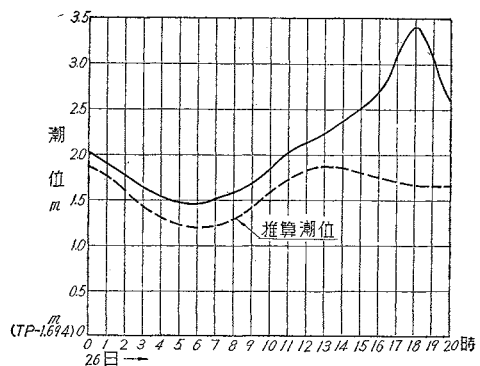


図-1 (b) 浦神港の潮位曲線
(潮位の D.L. = T.P. - 1.694 m)



(3) 最大波浪時の潮位

表-1 および 2 で明らかなごとく、台風の本心が江住を通過した 18 時 15 分までは風向は E~SE (潮ノ岬) あるいは NNE (和歌山) で陸風であつて、W~WSW (潮

* 正員 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学教室
** 正員 大阪市立大学助手 工学部永井研究室

表-1 潮ノ岬における風と気圧

日	時	分	風速 (m/sec)	風向	海面気圧 (mb)
26	12	00	17.1	E	989.8
	13	00	18.4	E	985.4
	14	00	21.6	E	978.7
	15	00	23.9	E	972.1
	16	00	31.4	E	963.5
	17	00	33.4	ESE	949.6
	18	00	30.6	SE	930.0
	19	00	29.0	W	946.2
	20	00	29.5	WSW	970.4
	21	00	24.5	WSW	981.6
	22	00	14.9	WSW	988.2
	23	00	18.4	WSW	991.6
24	00	15.7	WSW	995.1	
瞬間最大風速			48.5 m/sec	風向 SSE	26日18時02分
最大風速 (10分間平均)			33.4 m/sec	風向 ESE	26日17時00分
最低気圧 (海面)			929.5 mb		26日18時13分
暴風の始り		26日02時40分	暴風の終り		27日00時20分
風向順転または逆転		順転	総降水量		120.6 mm
降り始め		26日02時50分	降り終り		26日22時40分

ノ岬)あるいはNW~W(和歌山)になったのは19時あるいは20時以後であるから、最大波浪は少なくとも19時あるいは20時以後に起こつたと考えられる。それゆえ、防波堤の安定計算には19時から20時頃の潮位を用いることにし、大体満潮面のD.L.+2.10mとした。

(4) 風速

台風時の潮ノ岬測候所および和歌山气象台における風速、風向および海面気圧を示すと表-1および2のごとくである。

3. 最大波高の推定

(1) 矢櫃港

図-2により明らかなように矢櫃港は紀伊水道に突出した岬の南側の崖の下にある小さい漁港であつて、太平洋から紀伊水道へ浸入して来た波浪が直接当る場所にある。その上防波堤は図-3に示すごとく前面が急に深くなつた岩盤上に築造されているので、和歌山県下でも最も大きい波を受ける防波堤の1つである。この防波堤の先端付近の横断面は図-4に示すような混成堤で、天端高はD.L.+2.80mという低いものである。

伊勢湾台風時の波浪によつて、基礎捨石堤の外側の押えの捨石は散乱し、直立部、コンクリートブロックは最下段から天端までが一体となつて30~40cm 港内側に滑つている。波浪が最も大きかつたと推定される20時頃の防波堤における潮位はほぼ満潮面のD.L.+2.10mあるいはそれよりもいくぶん高かつたであろうと考えられ、漁師の言によれば、巨浪が天端を越して多量の波が港内に入つたとのことである。この防波堤直立部前面にはほとんど水平部を有せず、外法が1:2.5の勾配の捨石堤になつているから、 $H_{max} \approx 4 \sim 6$ mである場合には砕波して直立部に衝突し、その最大同時波圧の鉛直分布

表-2 和歌山における風と気圧

日	時	分	風速 (m/sec)	風向	海面気圧 (mb)
26	12	00	1.5	NNE	992.9
	13	00	7.3	NNE	989.1
	14	00	8.2	NNE	985.1
	15	00	14.2	NNE	978.7
	16	00	16.8	NNE	973.4
	17	00	19.1	NNE	967.3
	18	00	21.1	NNE	960.0
	19	00	20.2	N	957.7
	20	00	24.5	NW	963.5
	21	00	17.1	W	975.2
	22	00	16.0	W	984.6
	23	00	15.7	WSW	990.7
24	00	12.2	WSW	994.9	
瞬間最大風速			38.3 m/sec	風向 NNE	26日18時20分
最大風速 (10分間平均)			24.5 m/sec	風向 NW	26日20時00分
最低気圧 (海面)			957.1 mb		26日18時45分
暴風の始り		26日14時30分	暴風の終り		27日00時50分
風向順転または逆転		逆転	総降水量		77.7 mm
降り始め		25日06時45分	降り終り		26日22時35分

図-2 和歌山県の港湾位置図

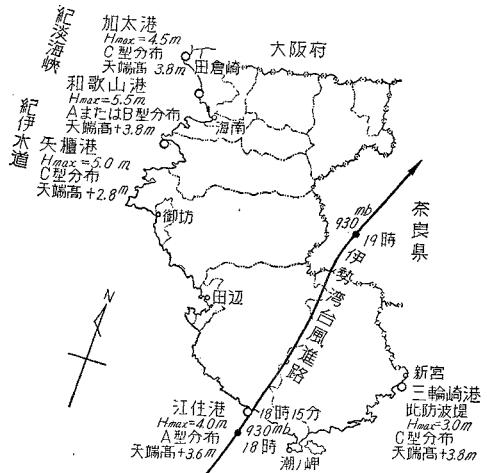
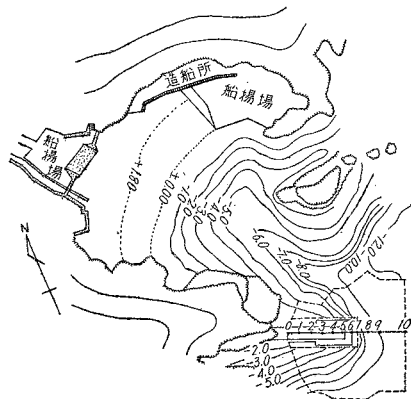
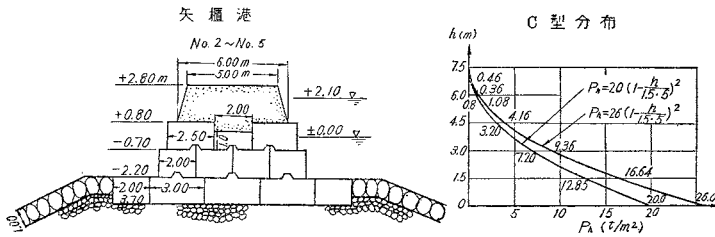


図-3 矢櫃港平面図



は必ずC型分布をする(論文の25ページ参照)。また防波堤の断面形および直立壁前面の水深 $h_1 \approx 6.0$ mより

図一4 矢櫃港の防波堤断面および砕波による最大同時波圧の分布



考えて、 $H_{max} \leq 6$ m であれば異常砕波は生じない。いま $H_{max} = 5$ m, $T = 10 \sim 11$ sec とし、水深 $h_0 = 15$ m にとると、波長 $L = 110 \sim 120$ m, $\therefore H/L = 0.045 \sim 0.042$

$$\therefore h_1 \cdot \frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{H}{L} = 6 \times \frac{6}{15} \times \frac{5}{120} = 0.10 \text{ m}$$

論文¹⁾の 図-32 より $P_{max} = 20 \sim 26 \text{ t/m}^2$, ゆえに平均の $P_{max} = 23 \text{ t/m}^2$ を用いると、直立壁に働く砕波の最大同時圧力の合力 P は

$$P = \frac{1}{2} P_{max} \cdot H = \frac{1}{2} \times 23 \times 5 = 57.5 \text{ t/m}$$

である。図-4 に示すごとく、この最大同時波圧は直立部の天端上 1.0 m まで働か、この部分の圧力はほぼ 0.14 t/m であるから次のようになる。

$$P = 57.36 \approx 57.4 \text{ t/m}$$

防波堤直立部の各水平継目には 図-3 に示すように突出部を設けてかみ合わされ、頂部の場所打ちコンクリートも中央部において下方に突出部を造つてかみ合わされているので、水平の滑動に対して抵抗が最も弱いのは基礎捨石堤に接した直立部の底面である。この面における直立部の摩擦抵抗係数は防波堤の設計においては普通 $f = 0.60$ にとつているが、滑動限界における f の値はもつと大きく、よく締まつた捨石堤の中にその下部の 1 部分をくい込んだ場合には $f = 0.80$ くらいにとるのが適当であると考えられるので⁴⁾、本文では滑動限界における $f = 0.80$ にとつて滑動に対する抵抗力を計算した。

図-4 に示す直立部で天端まが海中に没したとして、直立部底面における摩擦抵抗力 R を求めると

$$R = 0.8 \times 66.645 = 53.316 \approx 53.3 \text{ t/m} < P$$

である。ゆえに矢櫃港沖合における波高 $H = 5$ m になれば防波堤直立部に滑動すると考えられる。実際に滑動した距離は $30 \sim 40 \text{ cm}$ で、直立部はほとんど破壊されていないから、最大波高はおそらく $H_{max} = 5$ m であろうと推定される。

広井式 $P = 1.5 w_0 H \times 6.5 \text{ m} = 53.3 \text{ t/m}$ より H を求めると、 $H = 5.3 \text{ m}$ である。

(2) 江住港

台風は 18 時 15 分江住港の上空を通過した。それゆえ同港において波浪が最大になつたのはおそらく 19 時から 20 時の間で、その頃の防波堤における潮位は D.L. +2.10 ~ +2.30 m くらいであろう。同港の防波堤前面

には天端がほぼ $\pm 0 \text{ m}$ くらいの暗礁があるので、沖からの波はこの暗礁上で部分砕波してのち、防波堤に衝突すると考えられる。いま $h_1 = 2.10 \text{ m} = h_0$ とし、 $H/L = 0.04$ くらいであるから、 $h_1(h_1/h_0)(H/L) = 0.084 \text{ m}$ となり、 $P_{max} = 20 \sim 26 \text{ t/m}^2$ である。しかしこの場合には暗礁上で一度部分砕波する

から、せいぜい $P_{max} = 20 \text{ t/m}^2$ であろうと考えられる。 $H = 3 \sim 5 \text{ m}$ であろうから、 $h_1/H = 0.7 \sim 0.4$ となり、砕波の最大同時波圧の分布は A 型であると推定される(論文¹⁾の 14~17 ページ参照)。いま $H = 3.5 \text{ m}$ にとれば、最大同時波圧の合力 P は

$$P = \frac{1}{3} P_{max} \cdot H = \frac{1}{3} \times 20 \times 3.5 = 23.33 \text{ t/m}$$

天端以上の波圧は 0.034 t/m であるから $P = 23.3 \text{ t/m}$ である。

潮位を D.L. +2.10 m とし、 $f = 0.80$ として直立部底面における滑動に対する摩擦抵抗力 R を求めると

$$R = 0.8 \times 28.19 = 22.55 \approx 22.6 \text{ t/m} < P$$

となる。台風によって防波堤の直立部(33年度施工の部分)は底部から一体となつて港内側に $40 \sim 50 \text{ cm}$ 滑動しているから、 $H = 3.5 \sim 4.0 \text{ m}$ であろうと考えられる。

図-5 江住港平面図

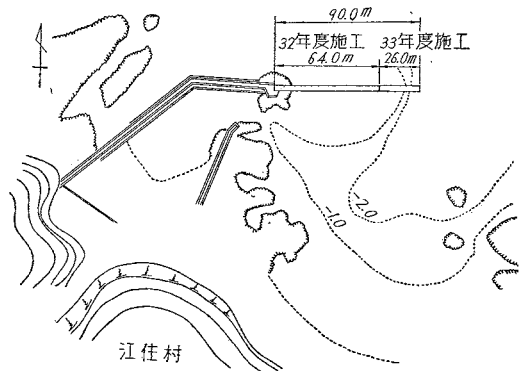
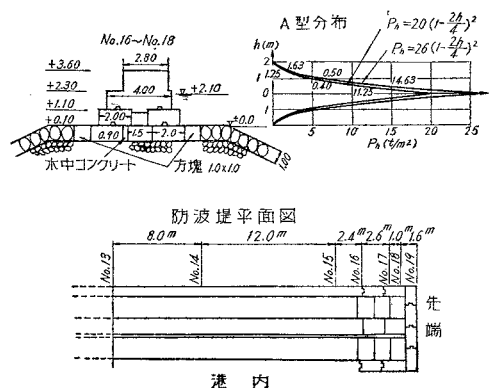


図-6 江住港防波堤断面および砕波の最大同時波圧の分布



防波堤前面には天端が ±0 の暗礁があり、暗礁の前も -8m 前後で比較的浅いので、せいぜい $H_{\max} \approx 4.0$ m くらいであろう。

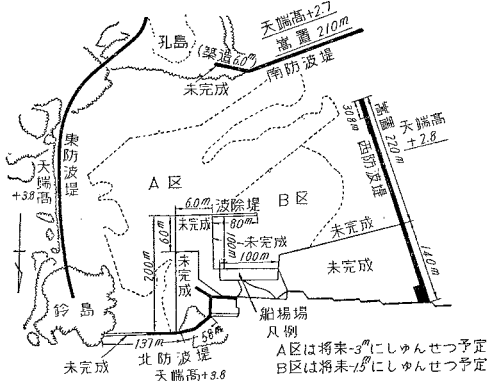
広井式 $P=1.5 w \cdot H \times 4.5 \text{ m} = 22.6 \text{ t/m}$ より H を求めると、 $H=3.25 \approx 3.3 \text{ m}$ である。

図-5 および 6 は江住港の防波堤の位置および断面ならびに砕波の同時波圧の分布を示す。

(3) 三輪崎港

図-2 および 7 に示すごとく新宮川河口から約 5 km 南方にある第 2 種漁港で、南および東側は暗礁にかこまれ、南から西の方向は岬と陸地で遮蔽されているが、東から北の方向が外洋に開いている。同港において大きな波浪が襲来するのは南から東の方向であるから、北側からの波は南ないし東の方向からの波が屈折したものである。

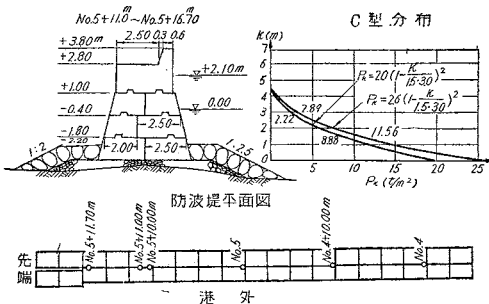
図-7 三輪崎港平面図



伊勢湾台風のときは南、東および北防波堤を多量の波が越して港内に浸入し、船揚場および漁舎の 1 部を破壊したが、北防波堤では直立部が一体となつて底部から港内側に滑動し、頂部の場所打ちコンクリートに大きなきれつを生じた。また砕波の衝突および越波の落下によつて港外側および港内側の押えの捨石が散乱した。この防波堤の断面は図-8のごときものである。

台風時の潮位を D.L.+2.10 m として防波堤の滑動に対する抵抗力 R を求めると

図-8 三輪崎港の北防波堤断面および砕波の最大同時波圧の分布



$$R=0.8 \times 36.49 = 29.19 \approx 29.2 \text{ t/m}$$

である。台風時には直立部前面の捨石は転落して、前面の水平部はほとんどなくなつていと考えられる。また基礎捨石堤の外側の法勾配は 1:2、直立部前面の水深 $h_1 \approx 5 \text{ m}$ であるから、砕波の最大同時圧力の分布は C 型である。ゆえに波高 $H=3.0 \text{ m}$ にとると $p_{\max} = 20 \text{ t/m}^2$ 、最大同時波圧の合力 P は

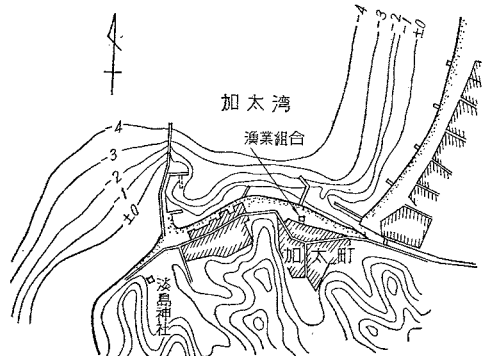
$$P = \frac{1}{2} p_{\max} \cdot H = 30 \text{ t/m} > R$$

ゆえにこの防波堤前面における波高 H は 3.0 m か、3.0 m よりわずかに大きく、おそらく屈折後の $H_{\max} \approx 3.5 \text{ m}$ くらいであろうと推定される。広井式を用いると $H = 2.72 \approx 2.7 \text{ m}$ である。

(4) 加太港

和歌山県北端にあつて友ヶ島水道の東側に位置し、西から北側は友ヶ島により、南側は田倉崎で遮蔽され、南西方向にだけ開いている。従つて加太港の防波堤は紀伊水道の波浪が田倉崎をまわつて南西から港へ浸入するのを防ぐために図-9のごとく海岸線にはほぼ直角に突出している。この防波堤の中央部約 40 m の区間が水平に港

図-9 加太港平面図



内側へ 8~30 cm ほど滑動するとともに、天端も 4~13 cm ほど沈下している。滑動および沈下した部分の最も先端に近い断面は図-10のごとくである。

潮位が D.L.+2.10 m のときのこの断面 (B-B 断面) の直立部底面における摩擦抵抗力 R は

$$R=0.8 \times 49.71 = 39.77 \text{ t/m}$$

この防波堤においては直立部前面に水平部がなく、捨石堤の外法の勾配は 1:3 で、 $h_1 \approx 3 \text{ m}$ であるから、砕波の同時圧力の鉛直分布は必ず C 型である。いま $H=4.0 \text{ m}$ とすると、 $p_{\max} = 20 \sim 26 \text{ t/m}^2$ 。この防波堤では波は回浪であるから $p_{\max} = 20 \text{ t/m}^2$ にとるのが適当である。ゆえに最大同時波圧の合力 P は

$$P = \frac{1}{2} p_{\max} \cdot H = 40 \text{ t/m} \approx R$$

となり、抵抗力 R にはほぼ等しい。防波堤先端の滑動しなかつた断面 (A-A 断面) における摩擦抵抗力 R は

滑ることになる。和歌山北港における 26 日 12 時から 17 時までの波浪記録（運輸省 和歌山港工事事務所の記録）による、 $H_{\max}=5.10\text{ m}$ (17時)、 $H_{1/10}=4.44\text{ m}$ (17時) であつて、このとき直立部は滑っていないから、C 型分布という仮定は事実と反する。

b) 最大同時波圧の分布を A 型あるいは B 型とした場合 $p_{\max}=20\text{ t/m}^2$ 、 $H=5.5\text{ m}$ とすると、B 型分布のときは

$$P=\frac{1}{3}p_{\max}\cdot H=36.7\text{ t/m}<R$$

A 型分布のときは、天端以上の波圧を引いて

$$P=36.7-1.1=35.6\text{ t/m}<R$$

となり、A および B 型のときは $H=5.5\text{ m}$ でも直立部は滑らない。

$H=6.0\text{ m}$ にとると、B 型分布では $P=40\text{ t/m}$ 、A 型分布では $P=38.4\text{ t/m}$ で、直立部がちやうど滑ることになる。ゆえに、最大波浪時における砕波の最大同時波圧の分布は A 型か B 型であつたと考えられ、 H_{\max} は 20 時以後に起こり、おそらく $H_{\max}=5.5\text{ m}$ であろうと推定される。もし広井式を用いると $H=3.99\approx 4.0\text{ m}$ で直立部が滑ることになり事実と反する。

以上の計算結果より、この防波堤の設計波高は最小限度 6 m にとる必要があると考えられるが、 $H=6\text{ m}$ に対してこの防波堤は安全ではないから、適当な補強が必要である。

4. 結 論

混成防波堤の直立部の滑動から、砕波の最大同時波圧の合方式を用いて台風時の最大波高 H_{\max} を推定した結果、加太港では 4.5 m 、和歌山港では 5.5 m 、矢櫃港では 5.0 m 、江住港では 4.0 m 、三輪崎港北防波堤では 3.5 m であつた。今度の台風は和歌山県南部では既往最大といわれる程度のものであるから、南部の港湾においては、今回の H_{\max} を設計波高にとれば十分であろうと思われる。しかし和歌山港 および 加太港では今回の H_{\max} よりやや大きい値を設計波高にとるのが適当であろうと考えられる。

広井式は天端が D.L. +2.80 m というような非常に低い防波堤の設計には使用して差し支えないが、それ以上の高さの防波堤では波圧の合力が実際の波圧より過大となり、設計波高に対して必要な防波堤断面が大きくなり過ぎて不適当である。

付 記 和歌山県下の港湾調査に際しては同県土木部 および水産課の御援助をえた。また本文の図面の作製には当研究室の助手 玉井佐一、久保 直の両君 および学生の上田伸三君の援助をえた。ここに記して感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- 1) 永井莊七郎：「防波堤に働く砕波の圧力に関する研究」、土木学会論文集、第 65 号・別冊 3-3、昭.34.12.
- 2) 運輸省和歌山港工事事務所における潮位記録.
- 3) 神戸海洋気象台における潮位記録.
- 4) 当研究室でおこなつた混成防波堤直立部の滑動に関する実験の結果によると、限界滑動係数は平均して $f=0.8$ であつた。

書 評

新 河 川 学

野 満 降 治 原 著
瀬 野 錦 蔵 補 訂

地 人 書 館 刊

野満博士著「河川学」は絶版になつてすでに久しい。今まで河川工学的立場で書かれた河川工学書は数多く刊行されているが、河川の本性を究明するいわゆる河川理学的立場より河川をみつめた書籍として「河川学」は当時においてユニークな存在であつたし、また現在でも貴重な存在である。

近年理学的立場よりの河川に関する研究は急速に進み、河川工学の分野においてこれらの研究はますます広く応用されているが、このたび「河川学」の増補改訂版として「新河川

学」が発刊されたことは時宜を得たものといえよう。

内容としては第 1 編河川論、第 3 編河谷発生論より成り立ち、第 1 編は河水のかんよう、河水の流動、出水、河水の作用、河谷第 2 編は河谷の発生、河川の発達の各章に分れている。改訂増補の主眼は水理気象学、出水、河水の運搬作用におかれているが、これらは防災上重要視されている洪水予報のまたは河川計画をたてる際の骨子となるものであり、本書には近年の研究成果がよくとり入れられており、また参考文献

にくわしいので河川技術者には良き参考書となるであろう。ただ慾をいえば近年における河川蛇行の研究をとり入れてほしいところであつた。

本書は全般的にいつて全編を通じて河川学の基礎知識がもうらされておられ、また水理気象、洪水解析、洪水予報等について近年の研究がひろく紹介されているので河川学を一通り学ばんとする人々にとつて、また河川技術者にとつてよき伴侶となるであろう。

A 5 判、330 ページ、定価 700 円 昭.34.8.25.発行。