資　　料

波の運動に伴う砂の移動限界水深の数表

堀　川　清　司*　佐々木　民　雄**

1 概　　説

海洋開発がマスコミをにぎわしている今日であるが，海洋，海岸および港湾構造物の設計上，あるいは海岸過程を問題とする際，波による海底底質の移動限界水深が問題となることが多い。

移動限界水深を求める試みは，佐藤・岸（1952），栗原・篠原ら（1956），石原・椹木（1960），佐藤・田中（1962），野田・井保（1964），椹木(1966)，野田（1966）および堀川・渡辺[1]らによってなされてきたが，堀川・渡辺以外の諸式はいずれも層流境界層を仮定し，また定常流の抵抗法則を用いているのに対し，堀川・渡辺は振動流れにおける抵抗法則に関する梶浦の理論的研究[2),3)]に示唆を与えられ，底面の粗滑や層流と乱流の範囲なども考慮し，移動限界水深を統一的に説明した。

しかしながら，設計や実験に際して堀川・渡辺の式を使って移動限界水深を求めるには，はなはだ面倒な計算をしなければならない。本報告は現場で，あるいは実験室等で初期および全面移動限界水深を求めたい場合，底質の粒径，波の周期および深海波高から，各移動限界水深を直ちに求められるように IBM System 360 を用いて計算した数表を提供するものである。

2. プログラムの概要

堀川・渡辺[1]は全面および初期移動限界水深に対して，おのおの「層流および滑面・乱流」および「粗面・乱流」の2枚の図によって実験式を表示している。ここで，全面移動とは海底の表面の第一層のほとんどすべての粒子が動き出す状態であり，初期移動とは海底の表面の比較的突出した粒子がいくつか動き出す状態である。

ここで，著者らはこの実験式をそれぞれ2本の回帰曲線で近似し，回帰係数を求めた。

層流および滑面・乱流の場合の回帰式を式（1）に示す。

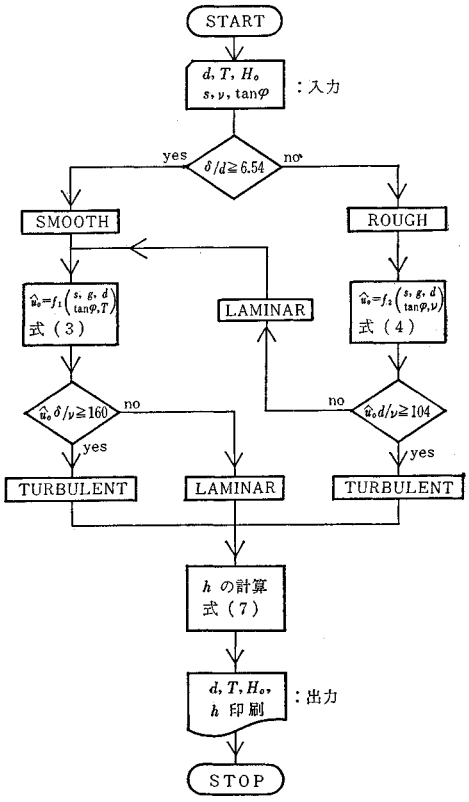
$$sgd\tan\varphi/\hat{u}_0^2=B(\hat{u}_0\delta/\nu)^A \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

ここに，S：砂の水に対する相対比重，g：重力の加速度，d：砂の粒径，φ：砂の水中安息角，$\hat{u}_0$：底面近くの水平方向流速の振幅，$\delta=(2\nu/\sigma)^{1/2}$：層流境界層の

表—1　回帰係数の値

区分	底面および境界層の状態	$-A$	10^B	備　　考
全面移動	層　　流	1.000 00	1.074 87	$\hat{u}_0\delta/\nu\leqq160$
	滑面・乱流	0.735 61	0.507 87	$\hat{u}_0\delta/\nu>160$
	粗面・乱流	0.529 78	0.322 22	$\hat{u}_0/\sigma d\leqq60$
		0.447 34	0.175 64	$\hat{u}_0/\sigma d>60$
初期移動	層　　流	1.000 00	1.233 31	$\hat{u}_0\delta/\nu\leqq160$
	滑面・乱流	0.818 49	0.853 27	$\hat{u}_0\sigma/\nu>160$
	粗面・乱流	0.451 73	0.254 60	$\hat{u}_0/\sigma d\leqq400$
		0.352 90	−0.0025 53	$\hat{u}_0/\sigma d>400$

図—1　移動限界水深計算のフローチャート



* 正会員　工博　東京大学教授　工学部　土木工学科
** 正会員　東京大学研究員，(株) I.N.A. 新土木研究所

厚さを規定する量，$\sigma=2\pi/T$, T：波の周期，ν：水の動粘性係数，A, B：回帰係数である。

粗面・乱流の場合を式（2）に示す。

$$sgd\tan\varphi/\hat{u}_0{}^2=B(\hat{u}_0/\sigma\, d)^A \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ここに，A, B は回帰係数である。

求められた回帰係数の値を **表—1** に示す。回帰式(1)，（2）より，$\hat{u}_0$ は式（3），（4）のように求まる。

$$\hat{u}_0=\{sgd\tan\varphi(\nu/\delta)^A/B\}^{1/(A+2)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

$$\hat{u}_0=\{sgd\tan\varphi(\sigma\, d)^A/B\}^{1/(A+2)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

また，$\hat{u}_0$ は微小振幅波理論により式（5）によって表示される。

$$\hat{u}_0=\pi H/\{T\sinh(2\pi h/L)\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

ここに，H：水深 h における波高，L：同じく波長。さらに H_0 を深海波高とすれば，

表—2　移動限界水深　($d=100\,\mu$)

*** ZENMEN IDO(GM) OYOBI SYOKI IDO(IM) GENKAI SUISHIN ***

RYUKEI = 100 MICRON　　SUISHIN (CM)

SHUKI (SEC)	0.5		1.0		1.5		2.0		2.5		3.0		3.5		4.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
1.	4.4	6.4														
2.	8.6	11.2		18.0												
3.	11.5	14.0	18.7	27.4												
4.	13.5	16.0	25.4	35.3		44.6										
5.	15.0	17.4	31.2	41.6		56.4										
6.			36.3	46.7	46.4	67.0		77.3								
7.			40.7	51.0	54.5	76.5		91.2								
8.			44.5	54.7	62.1	85.0	70.5	104.3		115.0						
9.			47.8	57.9	69.2	92.5	80.4	116.6		130.8						
10.			50.7	60.8	75.7	99.2	90.0	128.1		146.1		156.9				
11.			53.4	63.3	81.7	105.3	99.2	138.6	108.4	160.8		174.6				
12.			55.7	65.6	87.3	110.8	108.0	148.4	119.5	174.9		191.9				
13.			57.9	67.7	92.4	115.8	116.4	157.5	130.4	188.2		208.8		221.9		
14.			59.9	69.7	97.1	120.4	124.4	165.9	141.0	200.8		225.1		241.0		
15.			61.8	71.5	101.5	124.6	132.0	173.7	151.4	212.8	162.9	240.9		259.8		
16.			63.5	73.1	105.6	128.6	139.2	181.0	161.5	224.1	175.0	256.1		278.2		293.1
17.			65.1	74.7	109.4	132.3	146.0	187.9	171.2	234.7	187.0	270.7		296.2		313.6
18.			66.6	76.2	113.0	135.7	152.4	194.3	180.6	244.9	198.7	284.7		313.7		333.8
19.			68.0	77.6	116.4	139.0	158.6	200.3	189.6	254.5	210.2	298.2	223.3	330.7		353.6
20.			69.4	78.9	119.6	142.1	164.4	206.0	198.4	263.6	221.5	311.1	236.4	347.2		373.2
25.					133.3	155.3	189.6	230.5	237.3	302.9	273.6	368.0	299.3	422.3	319.3	464.8
30.					144.2	166.0	209.9	250.1	269.7	334.6	319.0	414.6	356.7	485.8	386.9	545.3
35.					153.4	174.9	226.8	266.4	296.9	360.9	358.2	453.5	408.2	539.7	449.6	615.6
40.					161.2	182.6	241.3	280.4	320.2	383.4	392.3	486.8	454.0	585.9	507.0	676.9
45.					168.1	189.3	253.9	292.6	340.5	403.0	422.2	515.7	494.9	626.3	559.3	730.5
50.							265.0	303.5	358.4	420.3	448.8	541.3	531.5	662.0	606.8	778.3
100.									473.	532.	617.	705.	765.	888.	917.	1079.
150.											711.	796.	896.	1015.	1090.	1247.
200.													986.	1101.	1209.	1364.
250.													1056.	1170.	1300.	1454.
300.															1374.	1521.
350.															1437.	1583.

SHUKI (SEC)	5.0		6.0		7.0		8.0		9.0		10.0		11.0		12.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
25.		516.5														
30.	443.6	624.2		681.6												
35.	525.7	723.6		805.1		874.5										
40.	604.3	814.2	677.4	922.3		1013.6										
45.	678.6	896.3	770.1	1032.1		1147.7		1237.9								
50.	748.2	970.7	859.5	1134.6	947.0	1276.0		1387.8		1477.2						
100.	1234.	1454.	1539.	1837.	1818.	2217.	2066.	2572.	2283.	2893.	2470.	3177.	2633.	3426.	2775.	3640.
150.	1512.	1724.	1947.	2234.	2379.	2769.	2797.	3304.	3191.	3825.	3555.	4324.	3887.	4793.	4188.	5226.
200.	1702.	1910.	2227.	2507.	2769.	3148.	3313.	3807.	3850.	4474.	4369.	5135.	4865.	5781.	5331.	6407.
250.	1847.	2052.	2440.	2715.	3063.	3435.	3705.	4188.	4353.	4962.	4997.	5747.	5629.	6534.	6242.	7313.
300.	1964.	2168.	2611.	2883.	3300.	3666.	4018.	4494.	4755.	5355.	5501.	6239.	6246.	7135.	6982.	8037.
350.	2063.	2265.	2754.	3024.	3497.	3860.	4279.	4749.	5090.	5682.	5919.	6647.	6759.	7636.	7599.	8638.
400.	2147.	2349.	2877.	3146.	3666.	4027.	4503.	4969.	5376.	5962.	6277.	6997.	7197.	8063.	8127.	9152.
450.	2222.	2423.	2985.	3253.	3814.	4173.	4698.	5162.	5626.	6208.	6589.	7302.	7578.	8437.	8586.	9601.
500.	2288.	2489.	3081.	3348.	3946.	4304.	4872.	5333.	5848.	6427.	6866.	7574.	7917.	8768.	8992.	9999.
600.			3247.	3511.	4173.	4529.	5170.	5629.	6229.	6803.	7340.	8041.	8495.	9335.	9687.	10680.
700.			3386.	3654.	4364.	4718.	5421.	5877.	6548.	7118.	7736.	8433.	8978.	9812.	10266.	11251.
800.					4529.	4878.	5637.	6092.	6823.	7391.	8078.	8770.	9394.	10223.	10764.	11741.
900.					4673.	5034.	5827.	6281.	7064.	7630.	8377.	9068.	9758.	10583.	11199.	12171.
1000.					4803.	5190.	5996.	6450.	7280.	7844.	8644.	9332.	10082.	10904.	11587.	12554.

SHUKI (SEC)	13.0		14.0		15.0		16.0		17.0		18.0		19.0		20.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
100.		3812.		3991.		4135.										
150.	4459.	5589.	4702.	5979.	4922.	6304.	5121.	6594.	5302.	6857.		7094.		7309.		7503.
200.	5767.	6959.	6170.	7565.	6541.	8089.	6883.	8579.	7197.	9030.	7486.	9446.	7753.	9827.	7999.	10179.
250.	6830.	8025.	7390.	8812.	7919.	9524.	8416.	10203.	8881.	10846.	9314.	11450.	9719.	12020.	10095.	12549.
300.	7703.	8883.	8403.	9820.	9078.	10688.	9725.	11535.	10340.	12353.	10923.	13137.	11475.	13883.	11995.	14598.
350.	8434.	9597.	9257.	10659.	10061.	11660.	10844.	12649.	11600.	13617.	12327.	14563.	13023.	15476.	13688.	16359.
400.	9059.	10207.	9988.	11375.	10907.	12489.	11811.	13601.	12694.	14700.	13554.	15784.	14387.	16849.	15190.	17883.
450.	9604.	10739.	10626.	11995.	11645.	13211.	12657.	14430.	13654.	15644.	14635.	16851.	15593.	18045.	16526.	19222.
500.	10086.	11210.	11190.	12545.	12299.	13849.	13406.	15163.	14507.	16478.	15595.	17793.	16668.	19103.	17721.	20402.
600.	10908.	12015.	12152.	13488.	13413.	14937.	14685.	16410.	15961.	17898.	17238.	19398.	18509.	20905.	19772.	22413.
700.	11594.	12689.	12954.	14272.	14340.	15846.	15748.	17447.	17171.	19083.	18604.	20736.	20042.	22406.	21481.	24089.
800.	12181.	13268.	13646.	14946.	15133.	16624.	16657.	18339.	18204.	20095.	19770.	21878.	21351.	23681.	22941.	25510.
900.	12695.	13776.	14239.	15537.	15826.	17306.	17450.	19119.	19105.	20980.	20787.	22876.	22491.	24799.	24212.	26757.
1000.	13152.	14228.	14772.	16065.	16441.	17912.	18153.	19815.	19904.	21765.	21688.	23760.	23501.	25790.	25338.	27860.

$$H_0/H=\sqrt{\{1+(4\pi h/L)/\sinh(4\pi h/L)\}\tanh(2\pi h/L)} \quad \cdots\cdots(6)$$

であるから式（5），（6）より式（7）が導かれる。

$$\frac{\pi H_0}{T\hat{u}_0}=\sinh\frac{2\pi h}{L}\sqrt{\left\{1+\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)}\right\}\tanh\frac{2\pi h}{L}} \quad \cdots\cdots(7)$$

式（3），（4）より求めた $\hat{u}_0$ より，式（7）の左辺の値が決まるので式（7）の右辺をあらかじめ種々の $2\pi h/L$ の値に対応して計算しておき，任意の $\pi H_0/(T\hat{u}_0)$ に対して $2\pi h/L$ の値を求めれば，これから移動限界水深 h を求めることができる。計算のフロー・チャートの概要を 図—1 に示す。

3. 計算結果

以上の方法によって計算した結果の一部を 表—2 から 表—5 に示した。計算に用いた入力は砂の比重：2.65,

表—3 移動限界水深 ($d=200\,\mu$)

*** ZENMEN IDO(GM) OYOBI SYOKI IDO(IM) GENKAI SUISHIN ***

RYUKEI = 200 MICRON　　SUISHIN (CM)

SHUKI (SEC)	0.5		1.0		1.5		2.0		2.5		3.0		3.5		4.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
1.																
2.	4.4	6.5														
3.	6.7	9.2														
4.	8.7	11.3		18.1												
5.	10.2	12.8		23.0												
6.			18.8	27.6												
7.			22.3	31.7												
8.			25.5	35.4		44.9										
9.			28.5	38.8		51.0										
10.			31.4	41.8		56.7										
11.			34.0	44.5	42.4	62.2		70.7								
12.			36.4	46.9	46.7	67.4		77.9								
13.			38.7	49.2	50.8	72.3		84.9								
14.			40.8	51.2	54.8	76.9		91.8								
15.			42.8	53.1	58.7	81.3		98.5								
16.			44.6	54.9	62.4	85.4	71.5	105.0		115.7						
17.			46.3	56.6	66.0	89.2	76.5	111.3		123.8						
18.			47.9	58.1	69.5	92.9	81.4	117.3		131.7						
19.			49.4	59.6	72.8	96.3	86.3	123.1		139.4						
20.			50.9	60.9	76.0	99.6	91.1	128.7		147.1		159.5				
25.					90.2	113.7	113.5	153.7	132.9	182.6		203.4		221.1		
30.					101.8	125.0	133.3	174.4	160.2	213.8	180.7	244.1		269.9		289.8
35.					111.6	134.4	150.6	191.8	185.3	241.0	212.7	281.1	234.1	315.8		343.2
40.					119.9	142.5	165.7	206.7	208.1	264.6	242.8	314.4	270.4	358.5	292.8	394.3
45.					127.1	149.5	179.0	219.7	228.8	285.5	270.8	344.4	305.2	397.8	333.3	442.4
50.							190.9	231.2	247.4	304.0	296.7	371.3	338.1	433.9	372.4	487.4
100.									368.	421.	472.	544.	575.	673.	673.	800.
150.											571.	640.	712.	806.	854.	977.
200.													806.	897.	979.	1099.
250.													877.	967.	1074.	1192.
300.															1150.	1264.
350.															1214.	1327.
400.																

SHUKI (SEC)	5.0		6.0		7.0		8.0		9.0		10.0		11.0		12.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
40.		445.6														
45.		507.7														
50.		567.8		625.7												
100.	848.	1034.	991.	1240.	1106.	1410.	1200.	1548.		1660.		1751.				
150.	1134.	1319.	1393.	1652.	1622.	1962.	1819.	2239.	1987.	2480.	2131.	2686.	2254.	2861.		3011.
200.	1335.	1514.	1686.	1941.	2019.	2361.	2325.	2760.	2599.	3131.	2842.	3466.	3055.	3765.	3243.	4029.
250.	1487.	1663.	1910.	2159.	2328.	2664.	2729.	3163.	3105.	3644.	3450.	4098.	3763.	4520.	4045.	4905.
300.	1608.	1782.	2089.	2334.	2577.	2907.	3059.	3486.	3524.	4059.	3964.	4615.	4376.	5147.	4756.	5647.
350.	1710.	1881.	2238.	2480.	2784.	3109.	3334.	3754.	3876.	4405.	4402.	5048.	4904.	5675.	5378.	6278.
400.	1797.	1967.	2366.	2605.	2961.	3282.	3569.	3984.	4178.	4699.	4778.	5417.	5362.	6127.	5923.	6823.
450.	1873.	2042.	2477.	2715.	3115.	3433.	3773.	4184.	4441.	4956.	5107.	5739.	5764.	6522.	6403.	7298.
500.	1941.	2109.	2576.	2812.	3251.	3567.	3954.	4361.	4673.	5184.	5398.	6023.	6120.	6871.	6831.	7718.
600.			2745.	2979.	3485.	3797.	4264.	4665.	5070.	5573.	5895.	6509.	6728.	7466.	7563.	8434.
700.			2887.	3120.	3680.	3990.	4522.	4919.	5400.	5897.	6308.	6914.	7234.	7961.	8171.	9029.
800.					3848.	4155.	4743.	5138.	5684.	6176.	6661.	7261.	7666.	8385.	8691.	9539.
900.					3995.	4301.	4937.	5330.	5931.	6421.	6969.	7565.	8043.	8756.	9144.	9984.
1000.					4127.	4431.	5109.	5500.	6151.	6638.	7243.	7835.	8377.	9085.	9545.	10378.

SHUKI (SEC)	13.0		14.0		15.0		16.0		17.0		18.0		19.0		20.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
150.		3134.														
200.	3409.	4249.	3556.	4463.		4642.		4801.								
250.	4299.	5237.	4526.	5565.	4730.	5846.	4915.	6099.	5084.	6323.		6526.		6710.		
300.	5104.	6092.	5421.	6540.	5709.	6933.	5972.	7289.	6212.	7613.	6431.	7908.	6633.	8174.		8418.
350.	5820.	6829.	6231.	7392.	6610.	7897.	6959.	8363.	7280.	8794.	7575.	9190.	7847.	9553.	8099.	9886.
400.	6456.	7469.	6958.	8138.	7429.	8748.	7867.	9322.	8274.	9861.	8652.	10363.	9003.	10827.	9328.	11258.
450.	7020.	8030.	7610.	8793.	8169.	9502.	8697.	10180.	9193.	10822.	9657.	11429.	10090.	11998.	10495.	12528.
500.	7525.	8528.	8196.	9378.	8840.	10176.	9454.	10948.	10037.	11690.	10588.	12397.	11107.	13065.	11594.	13700.
600.	8391.	9378.	9206.	10373.	10003.	11331.	10777.	12268.	11524.	13185.	12242.	14078.	12930.	14938.	13585.	15764.
700.	9112.	10084.	10050.	11202.	10979.	12289.	11893.	13371.	12787.	14439.	13659.	15490.	14503.	16520.	15319.	17521.
800.	9729.	10688.	10772.	11907.	11814.	13109.	12850.	14312.	13875.	15510.	14883.	16700.	15870.	17877.	16834.	19035.
900.	10265.	11214.	11400.	12523.	12542.	13822.	13686.	15132.	14825.	16443.	15954.	17754.	17070.	19060.	18168.	20354.
1000.	10741.	11681.	11956.	13069.	13186.	14454.	14424.	15853.	15665.	17267.	16903.	18686.	18134.	20105.	19354.	21521.

$\nu=0.0101\ \mathrm{cm^2/sec}$, $\tan\varphi=1$, 砂の粒径 d は 100 μ より 5 mm まで 39 種類，波の周期 T は 0.5 sec より 20 sec まで 24 種類，深海波高 H_0 は 1 cm より 10 m まで 40 種類を用いた。

出力は全面移動限界水深（GM）と初期移動限界水深（IM）をある粒径に対して，横軸に周期，縦軸に深海波高をとってならべて示した。

また，各入力の値によっては深海条件で砕波する場合があるので，式（8）に示す砕波条件によって，計算から除いた。L_0 は深海波長である。

$$(H_0/L_0)_{\mathrm{crit}}=0.142 \quad \cdots\cdots(8)$$

また，一応微小振幅波理論の適用限界として式（9）

$$h/L \geqq 0.15 \quad \cdots\cdots(9)$$

を仮定して計算した。なお，深海波高，移動限界水深の単位は cm であり，波高 1 m 以上の場合の限界水深は作表の都合上小数点以下を切り捨てた。

4. 結　　語

本報告は波運動下における砂の移動限界水深に統一的

表—4　移動限界水深（$d=500\ \mu$）

*** ZENMEN IDO(GM) OYOBI SYOKI IDO(IM) GENKAI SUISHIN ***

RYUKEI = 500 MICRON　　SUISHIN (CM)

SHUKI (SEC)	0.5		1.0		1.5		2.0		2.5		3.0		3.5		4.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
1.																
2.																
3.																
4.		5.2														
5.		6.5														
6.																
7.																
8.																
9.																
10.				18.3												
11.				20.3												
12.				22.3												
13.				24.2												
14.			18.6	26.0												
15.			20.1	27.8												
16.			21.5	29.5												
17.			22.9	31.2		39.6	72.1									
18.			24.3	32.7		42.3	76.8									
19.			25.7	34.2		44.9	81.6									
20.			27.0	35.7		47.4	86.3			108.1						
25.					44.6	59.6	108.8	70.3	123.2	138.3						
30.					54.0	70.4	129.4	86.0	149.5	166.7	167.1	186.9				
35.					62.8	80.1	147.6	100.7	174.0	192.5	197.6	219.5	216.4	242.2		
40.					70.9	88.5	163.8	114.5	196.4	216.0	226.5	250.0	250.9	279.3		303.1
45.					78.2	96.1	177.9	127.2	216.9	237.0	253.8	278.3	284.1	314.7	308.8	344.4
50.							190.5	138.9	235.5	256.0	279.2	304.4	315.9	348.0	346.1	384.3
100.									356.	373.	454.	480.	550.	585.	641.	687.
150.											554.	578.	688.	722.	823.	868.
200.													783.	816.	949.	993.
250.													855.	887.	1044.	1087.
300.															1121.	1163.
350.															1185.	1226.

SHUKI (SEC)	5.0		6.0		7.0		8.0		9.0		10.0		11.0		12.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
50.		441.5														
100.	800.	871.	927.	1036.	1029.	1176.	1111.	1295.		1397.						
150.	1085.	1157.	1323.	1441.	1530.	1702.	1706.	1937.	1854.	2147.	1981.	2332.	2090.	2499.		2648.
200.	1287.	1357.	1616.	1734.	1924.	2101.	2202.	2450.	2449.	2774.	2666.	3073.	2855.	3346.	3021.	3594.
250.	1440.	1509.	1841.	1956.	2234.	2409.	2605.	2854.	2950.	3284.	3263.	3693.	3544.	4077.	3795.	4435.
300.	1562.	1630.	2022.	2135.	2484.	2656.	2936.	3182.	3368.	3703.	3773.	4209.	4148.	4698.	4491.	5163.
350.	1664.	1731.	2172.	2283.	2692.	2862.	3213.	3456.	3721.	4053.	4210.	4645.	4673.	5227.	5106.	5792.
400.	1752.	1818.	2300.	2410.	2870.	3038.	3449.	3689.	4025.	4352.	4588.	5020.	5131.	5683.	5649.	6338.
450.	1828.	1894.	2412.	2521.	3025.	3191.	3655.	3892.	4289.	4613.	4919.	5346.	5535.	6082.	6130.	6816.
500.	1896.	1962.	2511.	2620.	3163.	3327.	3837.	4072.	4524.	4844.	5212.	5634.	5893.	6435.	6559.	7241.
600.			2682.	2789.	3398.	3560.	4148.	4380.	4923.	5238.	5712.	6127.	6505.	7038.	7295.	7965.
700.			2824.	2931.	3594.	3754.	4408.	4636.	5256.	5566.	6127.	6536.	7014.	7539.	7908.	8568.
800.					3762.	3922.	4630.	4857.	5540.	5848.	6483.	6887.	7449.	7968.	8431.	9082.
900.					3910.	4069.	4825.	5050.	5789.	6094.	6793.	7194.	7828.	8342.	8887.	9531.
1000.					4041.	4200.	4998.	5222.	6010.	6313.	7068.	7466.	8164.	8674.	9290.	9929.

SHUKI (SEC)	13.0		14.0		15.0		16.0		17.0		18.0		19.0		20.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
200.	3167.	3817.		4029.		4220.										
250.	4020.	4761.	4221.	5074.	4401.	5358.	4565.	5621.		5867.		6095.		6310.		
300.	4802.	5595.	5085.	6016.	5341.	6403.	5573.	6766.	5785.	7103.	5979.	7420.		7716.		7995.
350.	5507.	6325.	5876.	6853.	6215.	7345.	6526.	7811.	6810.	8250.	7072.	8663.	7313.	9053.	7535.	9420.
400.	6137.	6965.	6593.	7593.	7018.	8187.	7411.	8756.	7775.	9298.	8111.	9812.	8422.	10301.	8710.	10763.
450.	6700.	7529.	7241.	8249.	7750.	8940.	8228.	9607.	8674.	10250.	9089.	10866.	9476.	11453.	9836.	12017.
500.	7205.	8031.	7825.	8836.	8417.	9615.	8977.	10375.	9506.	11113.	10003.	11825.	10468.	12517.	10904.	13174.
600.	8075.	8890.	8838.	9839.	9580.	10775.	10296.	11700.	10983.	12613.	11640.	13507.	12265.	14383.	12859.	15236.
700.	8801.	9604.	9687.	10675.	10560.	11741.	11414.	12809.	12247.	13872.	13053.	14928.	13831.	15968.	14578.	16998.
800.	9421.	10213.	10413.	11388.	11400.	12568.	12377.	13757.	13338.	14950.	14280.	16144.	15198.	17335.	16090.	18511.
900.	9962.	10745.	11046.	12010.	12133.	13288.	13217.	14583.	14293.	15890.	15356.	17205.	16402.	18524.	17426.	19843.
1000.	10440.	11216.	11606.	12560.	12781.	13924.	13961.	15313.	15139.	16720.	16311.	18142.	17471.	19576.	18617.	21016.

解釈を与えた堀川・渡辺[1]の実験式に回帰式をあてはめ底質が砂の場合に，種々の底質粒径，波高および周期の波作用下における全面および初期移動限界水深を知る数表を求めたものである。表—2 から 表—5 以外の条件下の限界水深については，文献 4），5）を参照していただきたい。

水温は 20°C として表を作成しているので，どちらかといえば夏季の限界水深を表示していることとなる。また，比重，動粘性係数をおのおの海水の値を用いた場合は 5～10% 深くなる。比重の異なる底質についてもプログラムが完成しているので数表の作成は容易である。

なお，本数表を利用するにあたっては，それぞれの移動限界に対する定義に注意されたい。佐藤[6]は放射性ガラス砂を用いた観測結果から表層移動と完全移動とを定義している。これらは工学的に有意な海底底質の移動が起こる，あるいは海底変化が顕著になる水深を与えるものである[7]。したがって，本表に示された移動限界水深の数値は表層移動，完全移動の限界水深に比し，かなり大きいのは，その定義から当然である。

最後に，プログラムの作成については，東京大学助手

表—5 移動限界水深 (d=1 mm)

*** ZENMEN IDO(GM) OYOBI SYUKI IDO(IM) GENKAI SUISHIN ***

RYUKEI = 1000 MICRON　　SUISHIN (CM)

SHUKI (SEC)	0.5		1.0		1.5		2.0		2.5		3.0		3.5		4.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
1.																
2.																
3.																
4.	5.3	5.5														
5.	6.7	6.9														
6.																
7.																
8.				17.6												
9.			18.4	20.1												
10.			20.6	22.5												
11.			22.8	24.8												
12.			25.0	27.0												
13.			27.0	29.1												
14.			28.9	31.1		41.3										
15.			30.8	33.0	39.6	44.6										
16.			32.6	34.8	42.6	47.8										
17.			34.2	36.5	45.5	51.0										
18.			35.8	38.1	48.4	54.0										
19.			37.4	39.6	51.2	57.0										
20.			38.8	41.1	54.0	60.0		72.2								
25.					66.9	73.4	82.3	91.9								
30.					78.2	84.9	99.5	110.1	114.5	128.4						
35.					88.0	94.7	115.3	126.6	135.5	150.9		169.1				
40.					96.5	103.2	129.8	141.5	155.5	172.0	174.9	195.5		213.8		
45.					104.0	110.7	142.9	154.8	174.3	191.6	198.5	220.8	217.5	243.8		
50.							154.8	166.7	191.9	209.7	221.3	244.8	244.5	272.9		295.6
100.									314.	331.	392.	418.	465.	500.	530.	575.
150.											494.	519.	605.	640.	713.	759.
200.													702.	736.	842.	886.
250.													775.	809.	939.	983.
300.															1017.	1060.
350.															1082.	1125.

SHUKI (SEC)	5.0		6.0		7.0		8.0		9.0		10.0		11.0		12.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
100.	637.	702.	718.	799.		877.										
150.	910.	982.	1077.	1176.	1213.	1340.	1325.	1491.	1418.	1621.		1735.				
200.	1114.	1185.	1364.	1467.	1585.	1723.	1773.	1964.	1934.	2179.	2071.	2369.	2189.	2540.		2693.
250.	1270.	1340.	1592.	1694.	1891.	2032.	2160.	2361.	2398.	2664.	2605.	2940.	2786.	3191.	2945.	3419.
300.	1396.	1465.	1777.	1877.	2144.	2285.	2489.	2691.	2803.	3078.	3086.	3440.	3338.	3775.	3562.	4085.
350.	1500.	1568.	1930.	2030.	2357.	2496.	2768.	2970.	3155.	3432.	3512.	3874.	3838.	4292.	4132.	4685.
400.	1590.	1656.	2062.	2160.	2540.	2677.	3010.	3210.	3462.	3738.	3889.	4253.	4286.	4749.	4652.	5222.
450.	1667.	1734.	2176.	2273.	2699.	2834.	3221.	3419.	3732.	4005.	4223.	4586.	4689.	5153.	5124.	5702.
500.	1736.	1802.	2278.	2374.	2839.	2974.	3407.	3603.	3971.	4242.	4522.	4882.	5050.	5514.	5553.	6133.
600.			2451.	2545.	3079.	3211.	3726.	3918.	4381.	4647.	5033.	5388.	5674.	6132.	6297.	6874.
700.			2595.	2689.	3279.	3409.	3991.	4181.	4721.	4983.	5459.	5808.	6196.	6647.	6923.	7493.
800.					3450.	3579.	4218.	4405.	5012.	5271.	5823.	6167.	6641.	7086.	7459.	8022.
900.					3600.	3728.	4416.	4601.	5265.	5522.	6140.	6480.	7029.	7469.	7926.	8482.
1000.					3733.	3860.	4591.	4776.	5490.	5745.	6420.	6758.	7373.	7808.	8339.	8889.

SHUKI (SEC)	13.0		14.0		15.0		16.0		17.0		18.0		19.0		20.0	
HAKOU (CM)	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM	GM	IM
200.																
250.	3085.	3625.		3816.		3990.										
300.	3766.	4368.	3938.	4632.	4098.	4874.		5098.		5307.						
350.	4397.	5050.	4635.	5394.	4850.	5710.	5044.	6005.	5221.	6279.		6536.		6775.		7000.
400.	4986.	5667.	5290.	6093.	5567.	6489.	5818.	6859.	6047.	7206.	6258.	7531.	6451.	7836.		8121.
450.	5528.	6225.	5900.	6731.	6242.	7207.	6555.	7656.	6842.	8080.	7106.	8477.	7349.	8853.	7574.	9205.
500.	6025.	6729.	6465.	7312.	6874.	7867.	7252.	8394.	7600.	8895.	7922.	9370.	8219.	9820.	8495.	10244.
600.	6896.	7603.	7467.	8326.	8008.	9027.	8517.	9705.	8995.	10359.	9441.	10987.	9857.	11589.	10245.	12165.
700.	7634.	8335.	8324.	9181.	8989.	10011.	9624.	10826.	10229.	11623.	10802.	12398.	11343.	13149.	11852.	13871.
800.	8269.	8961.	9065.	9914.	9841.	10858.	10593.	11795.	11318.	12720.	12014.	13627.	12679.	14515.	13311.	15382.
900.	8822.	9507.	9712.	10553.	10589.	11597.	11448.	12643.	12284.	13681.	13095.	14712.	13878.	15726.	14630.	16727.
1000.	9312.	9990.	10286.	11118.	11253.	12251.	12208.	13393.	13146.	14534.	14063.	15672.	14956.	16805.	15822.	17921.

西村仁嗣氏，回帰式の作成については同大学院博士課程渡辺　晃氏，および IBM サイエンティフィック データセンター の利用については（株）I.N.A. 新土木研究所代表取締役高居富一氏に数々のご援助をいただいた。ここに記して謝意を表する次第である。

参 考 文 献

1) 堀川清司・渡辺　晃：波による砂移動に関する一考察，第 13 回海岸工学講演会講演集，1966.
2) Kajiura, K. : On the bottom friction in an oscillatory current, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 42, No. 1, 1964.
3) Kajiura, K : On the bottom frictional stress in a turbulent oscillatory flow, Recent Studies on Tsunami Run-up, U.S.-Japan Cooperative Scientific Research, April, 1965.
4) 相模川河口調査委員会：昭和 44 年度相模川河口調査報告書，土木学会，1970.
5) （株）I. N. A. 新土木研究所：昭和 44 年度新潟海岸養浜模型実験報告書，1970.
6) 佐藤昭二：漂砂，1966 年度水工学 に関する 夏期研修会講義集，土木学会，1966.
7) 土木学会海岸工学委員会：海岸保全施設設計便覧，改訂版，1969

（1970.1.28・受付）

第 16 回　海岸工学講演会講演集頒布

第 16 回海岸工学講演会は 44 年 12 月 11～12 日の両日大阪市において行なわれます。今回の講演発表数は 56 編を数え，これらを収録した講演集は 380 ページを越えるものとなりました。 本講演集ご希望の方は土木学会へお申込み下さい。

体　　裁：B 5判　8ポ2段活版印刷 384 ページ
定　　価：3 000 円　　送　　料：150 円

土木学会田中賞設立を記念して刊行されたユニークな橋の年報

橋 1967-1968

A 4判カラー入り・特上製 82ページ

1500円（〒150円）

■本州四国連絡橋技術調査報告書の概要■福島第1高架橋■名護屋大橋■鋼橋1967年の展望・箱ケ瀬橋／舞鶴跨線橋／瀬詰大橋／谷町インターチェンジ／竜頭の橋／水道道路架道橋／狭間第6架道橋／越ケ谷架道橋および八ツ道越ケ谷架道橋／姥久保橋／大天橋■コンクリート橋 1967 年の展望・想影橋／大呼戸沢橋梁／みなと大橋／有田川橋梁／瀬田川橋梁／小高瀬高架橋■1967年竣工主要橋梁一覧■Response of Suspension Brigde to Moving Vehicles.

橋 1968-1969

A 4判カラー入り・特上製 96ページ

1600円（〒150円）

■東名高速道路の橋梁■尾道大橋■浜名湖橋■第3綾瀬高架橋■鋼橋1968年の展望・多摩川橋梁／無意根大橋／荒川・中川橋梁／新桂川橋梁／第一江戸川橋梁／新石狩大橋／安芸大橋／新瀬戸橋／飯田橋歩道橋／川崎ターミナル歩道橋／横浜駅東口歩道橋／新伊東線・熱海駅地下道架道橋／福島仮設架道橋■コンクリート橋1968年の展望・矢作川橋梁／荒川ＰＣ下路鉄道橋／荒川東高架橋／地震滝橋■1968年竣工主要橋梁一覧■長大吊橋の地震応答と耐震設計法に関する研究

東名高速道路建設誌　11 500 円　45 年 6 月刊行　B 5 上製　1024 ページ（口絵カラーとも 48 ページ・付図入り）

〒160　東京都新宿区四谷1丁目　土木学会刊行物頒布係　振替 東京 16828 番　電話 351-4131