土木試驗所報告

第三十八號

內　容

現場コンクリートの强度竝に之に及ぼす
施工條件の影響に就て……內務技師 藤井眞透 同 大野博 同 佐藤寬政 … 1

現場に於ける瀝靑乳劑製造の設備及び
製法竝にその乳劑の性質に關する試驗……內務技師 西川榮三 福島彌六 …21

重力式岸壁の耐震限度……內務技師 松尾春雄 大門美代三 …57

彈性地盤上の圓形水槽……內務技師 松村孫治 中西健吉 …65

昭和十二年九月

內務省土木試驗所

報告第三十八號正誤表

頁	行	誤	正
5	下カラ 12 行目	5 種	4 種
〃	〃 10 行目	及製造所別	削除
15	第 12 表	組平均	1 組平均
18	第 14 圖	kg/cm^2	#/□″
58	上カラ 1 行目	必ぼす	及ぼす
62	〃 11 行目	—	−
67	下カラ 5 行目	$Q=\frac{dM}{dz}$	$Q=-\frac{dM}{dz}$
71	〃 3 行目	$\frac{d\omega}{2z}$	$\frac{d\omega}{dz}$
79	〃 4 行目	$E\times 2\times 10^5$	$E=2\times 10^5$
86	上カラ 10 行目	$+\frac{e^{-z-(v+\frac{1}{2})\pi i}}{(2\pi z)^{\frac{1}{2}}}$	$+\frac{e^{-z-(v+\frac{1}{2})\pi i}}{(2\pi z)^{\frac{1}{2}}}$

---

12 頁下カラ 10 行目～8 行目ハ下記ノ如ク訂正

供試體 1 組の 3 値：$\sigma_a \geqq \sigma_b \geqq \sigma_c$

$$\sigma_0=\frac{1}{3}(\sigma_a+\sigma_b+\sigma_c)$$

$$U=\frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_a-\sigma_0}{\sigma_0}+\frac{\sigma_0-\sigma_c}{\delta_0}\right)\times 100=\frac{1}{2}\,\frac{\sigma_a-\sigma_c}{\delta_0}\times 100$$

現場コンクリートの強度竝に之に及ぼす施工條件の影響に就て

内務技師　藤井眞透
同　大野博
同　佐藤寛政

目次

I. 總説……(1)
[1] 緒言……(1)
[2] 調査せる工事の種類……(2)
[3] 調査方法……(3)
[4] 供試體製作方法……(3)
II. 現場コンクリートの強度竝にその試驗用コンクリートとの比較……(4)
[1] 現場コンクリートの施工法に就て……(4)
(1) ミキサの容量……(4)
(2) 使用材料の種類……(5)
(3) 材料の計量法……(6)
(4) 混合法……(7)
[2] 現場コンクリートの強度……(7)
(1) 配合別に依るコンクリートの強度……(7)
(2) 材料投入順序に依る混合法の比較……(9)
(3) 工事種類とスランプ……(10)
(4) スランプと強度との關係……(11)
[3] 現場コンクリートと試驗用コンクリートとの比較……(11)
(1) 強度の比較……(11)
(2) 不均等性の比較……(12)
III. 現場コンクリートの強度に及ぼす施工季節，ミキサの容量の影響……(13)
[1] 施工季節の影響……(13)
[2] ミキサの容量に依るコンクリートの均等性……(15)
IV. 要約……(18)

I. 總説

[1] 緒言

現在土木構造物の築造に際してコンクリートを用ひざるもの殆どなく，コンクリートそのものを主體とするものはもとより，鋼鐵構造物の如きものもその下部構造乃至基礎工として總てコンクリートを用ひてゐる．大正3年に於てポルトランドセメントの需要は615,000樽に過ぎなかつたが，大正13年には2,180,000樽，昭和8年には4,760,000樽，昭和

11 年に至つて 6,100,000 t を超え，大正 3 年より昭和 11 年に至る 22 年間に約 10 倍の増加をみるに至り，その過半は土木工事に使用せられてゐる現狀で，從つて土木構造物の本質は全く面目を一新するに至つた．

コンクリートの性質及その强度に關する研究も近年著しく進歩し，之に基きて施工方法も長足の發達を遂げ，所要强度を有するコンクリートの配合設計に則り土木構造物を安全且經濟的に築造するために幾多の研究が發表されたが，施工は極めて多岐多樣の條件を伴ひ，之に應じてコンクリートの性質は常に支配さるゝを以て到底單純にその强度及性質を豫定する事は出來ない．

從つて今現場コンクリートの强度竝に性質に關する試驗を行ひ，之によりその施工條件の及ぼす影響を明かにし，以て現場コンクリートの性質竝にその施工標準方法の決定資料を得んが爲めに實際工事現場に就てその强度試驗を行ひ，之に對應する試驗用コンクリートを作り，之等の比較試驗を行つた．

試驗は昭和 9 年 11 月より同 11 年 8 月迄 22 ヶ月に亘り，東京附近に於けるコンクリート工事現場 24 ヶ所に就て行つたが，今後尙引續き廣範圍に亘り之等の調査研究を進める豫定であるが玆に第 1 回を報告するものである．

[2] 調査せる工事の種類

工事現場の種類は橋梁工事 11 ヶ所，道路鋪裝工事 11 ヶ所，港灣岸壁工事及局地鋪裝工事各 1 ヶ所にして，その施工は內務省東京土木出張所直轄，東京府及東京市の直營又は

第 1 表　現場コンクリート調査工事箇所

橋梁工事		鋪裝工事		其の他の工事
潮路橋	芝區芝浦町 2ノ1	大宮國道	大宮町櫻木町西區834	港灣岸壁工事（東京市港灣部コンクリート矢板）
東雲 〃	月島埋立 5～6 號地	放射14號路線	江戸川區小岩町4～7丁目	局地鋪裝工事（麹町區霞關內務省玄關）
多摩川原 〃	北多摩郡調布町下石原	環狀 6 號路線	中野區相生町32	
勝閧 〃	京橋區月島西河岸通	放射 5 號 〃	澁谷區轎谷笹塚町	
大成 〃	大宮國道日進村大成	放射 6 號 〃	杉並區高圓寺町2～3丁目	
小松川 〃	江戸川區西小松川	補助43號 〃	淀橋區上落合626	
白鳥 〃	小石川區江戸川町18	放射10號 〃	王子區岩淵町1ノ836	
長者 〃	中野區相生町環狀 6 號路線	補助94號 〃	城東區大島町 7～8丁目	
南平臺 〃	澁谷區針山町	千葉國道	千葉縣津田沼町	
青山 〃	麻布區新廣尾町	放射 7 號路線	板橋區中新井町	
桃園 〃	中野區～淀橋區補助42號路線	放射 8 號路線	豐島區池袋町 1～4丁目	

請負に依るもので各工事箇所は第1表に示す如くである.

[3] 調 査 方 法

現場コンクリートの調査は前記の各工事現場に就て豫め現場と打合せの下にその試驗部分を選定しおき,コンクリート工の實施に際して工事現場に赴き,第2表にその1例を示せる要領を以て調査報告書の各要項を調査記入し,同時に施工コンクリートより現場コンクリート供試體を作製し,別に後記の方法を以て試驗用コンクリート供試體を作り兩者の比較研究を行つた.更に施工季節のコンクリート強度に及ぼす影響を看んが爲め1橋梁現場を選びて上記の方法に依りて現場コンクリート型詰供試體を製作し,毎月,1ケ年間に亘つて試驗を續け行つた.

第2表　現場コンクリート調査報告

(1)

No. 6　現場コンクリート調査報告　10年 3月 8日調

現場	道路工事 埼玉縣大宮町櫻木町西区834	工事者	内務省大宮国道改良事務所
		施工者	直営
材料	セメント	浅野セメント	
	砂	産地 荒川(秋瀬採取)	
	砂利	産地 荒川(熊谷吹上採取)	
	水	井戸水	混和剤 無
仕様要項	配合 1:2:4	スランプ 1 cm	水セメント 40~45% 強度 kg/cm²
材料計量法	コンクリート1m³に付 1連用セメント1袋 セメント 340kg 砂 0.45m³ 砂利 0.90m³ 砂 0.06m³…0.055m³入 鉄製箱にて1本杯 砂利 0.141m³…0.047m³入 〃 3杯 水 22.5ℓ…0.005m³入 バケツにて4½杯		
混合ニ關スル事項	ミキサ7切練(ガツリンペーパー) 混合時間 1~1½分 砂の含水量として1尺³に付3kgを考慮す		

抗壓強度供試体ノ現場製作

供試体番號	製作年月日	天候	氣温 ℃	水温 ℃	採取箇所	仕様配合	スランプ cm	生コンクリート温度 ℃	摘要
37	10.3.8	晴	11.0		1層式	1:2:4	0.8	12.5	
38	〃	〃	〃		道路鋪	〃	1.2	〃	
39	〃	〃	〃		裝	〃	1.2	〃	

[4] 供試體製作方法

現場コンクリートの試料はコンクリート・ミキサの練上りコンクリートより取り壓縮試驗體の型は徑 15 cm 高 30 cm の標準圓壔型を用ひた.

ミキサの1練り分コンクリートから供試體1箇を採り,連續3練分から1組3箇を作製した.而してコンクリートの材料の孰れか1つでも異る毎に更に1組を製作した.

製作に當りては先づ施工軟度測定の爲にスランプ試驗を行ひ之を再び練返した後に供試體を標準方法に則り製作した.只鋪裝用コンクリートにしてスランプ 5 cm 以下のものはその施工方法に應じて密裝するを要するが故に標準方法の3層の代りに4層に塡充した.

塡充し了つた供試體はそのまゝ現場に放置し,翌日上面を清掃の上硬練りセメントペー

ストを以て鏝仕上げを行ひ，更に濕布を以て覆ひ之を靜置しその翌日之を脱型し現場コンクリートの養生法と同一の養生を行ひ，壓縮試驗を行ふ際に之を本所試驗室に搬入し直ちに試驗を行つた．

此の現場施工のコンクリートと比較するために同一材料同一配合のコンクリートを本所に於て混合し，特に試驗用コンクリート供試體を製作し，養生は 20°C～24°C の恒溫水槽内に於て行つた．

供試體の數は各現場毎に 1 組乃至 4 組の現場型詰供試體と之等と比較すべき 1 組宛の試驗室供試體，更に 1 橋梁現場に於て 1 ヶ年間に亘つて製作せる現場供試體を合し，現場コンクリート供試體は 141 組 423 箇，試驗室コンクリート供試體は 38 組 114 箇，總計179 組 537 箇に及んだ．之等のコンクリートの品質は配合に於て 1:2:4，1:3:6，1:1.5:2.5 及 1:2.5:5 の 4 種にして前 2 者最も多く，後 2 者はその數極めて少かつたので以下に 1:2:4 及 1:3:6 コンクリートに就て調査結果を述べる事とする．

(2)

No. 6　　現場

骨材試驗成績　　年　月　日

砂 (No. 6)	單位重量	標準	1,580 kg/m³		輕減	1433 kg/m³						摘要
	比重	2.66	空隙 40.6 %		淤泥 — %							
	篩分	篩目 mm			5.00	2.40	1.20	0.60	0.30	0.15		
		通過量 %			100.0	98.0	76.1	15.4	0.25	—		
砂利 (No. 6)	單位重量	標準	1,638 kg/m³		輕減	1,580 kg/m³						
	比重	2.68	空隙 38.9 %		淤泥 — %							
	篩分	篩目 mm	50	40	20	25	20	15	10	5		
		通過量 %		100.0	89.5	77.2	66.3	45.0	15.3	0.7		

現場コンクリート壓縮强度試驗

供試体番號	仕様配合	水/セメント %	スランプ cm	試驗年月日	重量 kg	總荷重 kg	壓縮强度 kg/cm²	摘要
37	1:2:4	40~45	0.8	104.5	12.58	45,650	258	
38	〃	〃	1.2	〃	12.62	45,000	255	
39	〃	〃	1.2	〃	12.79	52,000	294	
平均							269	

試驗室コンクリート壓縮强度試驗　　10 年 5 月 2 日製作　10 年 5 月 30 日試驗

供試体番號	配合	水/セメント %	スランプ cm	フロー %	重量 kg	總荷重 kg	壓縮强度 kg/cm²	摘要
16	1:2:4	53.9	2.0	110	12.73	50,500	286	
17	〃	〃	1.0	110	12.77	50,600	286	
18	〃	〃	1.0	110	12.72	58,900	333	
平均							302	

II. 現場コンクリートの强度竝にその試驗用コンクリートとの比較

[1] 現場コンクリートの施工法に就て

現場コンクリートの一般的性質竝にその强度の性質を明かにする爲にその施工法に就て記述する．

(1) ミキサの容量　　コンクリートの混合には總てミキサを用ひ，調査せる現場に於ては手練を用ひたものはなかつた．

ミキサの型式はドラム型最も多く，角型及圓錐型等は多くは鋪裝用硬練コンクリートに用ひられ，規模大なる現場に於てはコンクリートペーバーを用ひた所もあつた．ミキサの動力は電力を用ふるもの大部分を占め，ガソリン及スチームを用ふるものあるも稀で極く一局部に限られてゐた．

容量は4切，7切，10切，14切，21切のものを用ひ，その中7切と14切のもの最も多く，21切を使用する所は極めて稀で，規模相當大なる現場でも14切のものが割合に多かつた．容量に對して裝入混合量は前者の 70～90％ に當り，容量小なる 4切練のものは 90％，7切練は 60～90％，10切練は 70～80％，14切練は 50～85％ で容量小なるもの程規定量に近く裝入混合し，容量大なるものは比較的餘裕ある混合量を裝入してゐる．

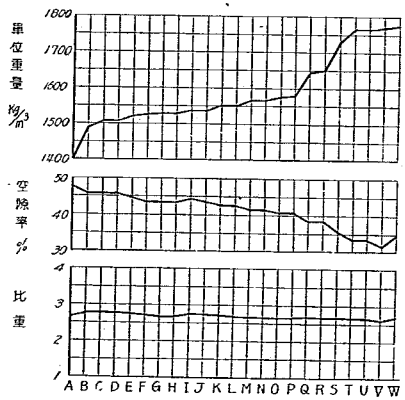
第3表　東京市附近のコンクリート工事用材の分布
竝に骨材の産地別淤泥含有量

1．骨　　材

種　別	産　地	使用現場（％）	淤泥含有量（％）	平均淤泥（％）
砂　利	多摩川	54	0.5～3.5	1.66
	荒　川	23	0.3～3.0	1.26
	利根川	14	1.2～2.3	1.56
	相模川	9	1.8～1.9	1.85
砂	江戸川	46	0.5～3.0	1.71
	荒　川	35	0.2～3.0	1.31
	多摩川	19	2.0～5.0	3.14

2．混合用水

種　別	使用現場（％）
水　　道	73
井　戸　水	20
河水其の他	7



第1圖　砂の重量，空隙率及比重

（2）　使用材料の種類　　工事現場は東京附近に限定せられてゐるから，使用材料の種別に就ては一定の方向を觀取し得ないが，セメントは 11 種，使用水は 3 種，砂は3種，粗骨材としては凡て砂利を使用し，その種類は4種にして，各工事現場に於て使用された各種材料の産地別及製造所別割合は第3表の如し．

セメントは殆ど普通セメントにして，高爐セメント使用は1箇所，ベロセメントは3箇所の現場に於て使用されたに過ぎなかつた．

砂は江戸川産を使用する現場が總數の略〻半に達し，その一般性質としては比重 2.59～2.79，標準單位重量 1408～1775 kg/m³，空隙率 47.7～31.7 ％にして，之等の關係を重量の小なるも

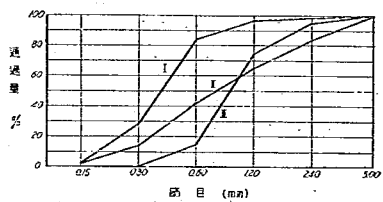
のより配列して圖示せば第1圖の如し.

卽ち比重には幾何の變化なきも，その形狀に於ては稜角に富むものと然らざるものとの差異著しきを認む. 粒度に就てはその代表的なるものを示さば第2圖の如く，I型最も多く，II型之に次ぎ，III型は少い. 砂は河川產で水洗される爲め，一般に木片，塵芥，土塊の混入せるもの殆どなく，又貝殼の混在も比較的少きも，淤泥の含有は相當多量なるものもあつた.

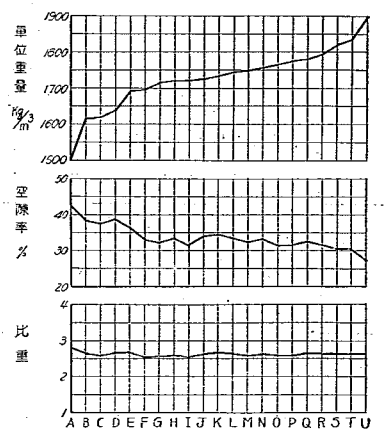
砂利は多摩川產のものが多く使用され，比重 2.52～2.70，標準單位重量1501～1898 kg/m³，空隙率 42.5～27.3% にして之等の關係は第3圖の如し. 砂利の最大粒徑は工事の種類に依つて所謂鐵筋砂利と無筋砂利によつて異り，各最大粒徑を使用せる現場の割合は下の如くであつた.

最大粒徑 (mm)	25	30	40	50
使用現場數 (%)	10	14	56	20

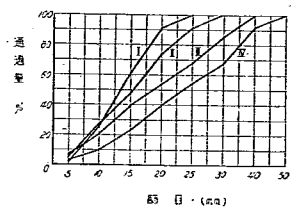
砂利の粒度に就てその代表的實例を示せば第4圖の如くである.



第 2 圖　砂 の 粒 度 例



第 3 圖　砂利の重量空隙率及比重



第 4 圖　砂 利 の 粒 度 例

(3)　材料の計量法　　配合を合理的に決定するも混合に際し材料の計量を正確に行はなかつたならば，その効果を擧ぐる事は出來ない. セメント，水，砂，砂利の中，その3を正確に計量するも殘りの1の計量を誤らば全部の配合を失するものであり，從つて材料の計量の不正確は最も陷り易き現場の缺陷である.

近年コンクリート施工法の進歩に伴ひ監督の行屆ける注意に基き相當正確なる計量が行はるゝに至つたことを認むる.

砂利と砂との計量は木製の樽型容器最も多く，鐵製の圓筒型も相當に用ひられてゐる.

混合法は bag batch 法を用ふるもの多く，從つてセメントは袋入りの儘その1袋分或は2袋分をその儘ミキサに裝入し，之に應ずる砂，砂利量を裝入するものが多かつた．之に依り難き場合例へば $1\frac{1}{3}$ 袋を要する場合等は，袋入りと別に木製桝を用ひ端數量を後者により計量して加へてゐる．從來用ひられた事のある目分量によりて $\frac{1}{2}$ 袋，若しくは $\frac{2}{3}$ 袋を分つが如き方法は全く影を失ふに至つてゐる．

材料計量の1例を示せば第4表の如し．

第4表　1練用材料の計量例

配合	材料	分量	計量方法
1：2：4 (1)	セメント	1 袋	
	水	22.5 l	バケツ 5 l 入にて 4.5 杯
	砂	0.06 m^3	鐵製罐 55 l 入にて $1\frac{1}{4}$ 杯
	砂利	0.141 m^3	同　上 47 l 入にて 3 杯
同 (2)	セメント	2 袋	
	水	45 l	
	砂	0.120 m^3	鐵製桝上徑 47cm，下徑 34cm，高 52cm のものにて2杯
	砂利	0.282 m^3	木製箱 51 l 入にて 6 杯
1：3：6	セメント	1袋＋0.3切	1 袋と殘餘の分は木桝 1尺×1尺×0.3尺
	水		4 斗樽に目盛をなし之にセメントを入れてペーストを作る
	砂	4 切	2 切入半樽にて 2 杯
	砂利	8 切	同　上　　4 杯

（4）　混合法　　コンクリートの混合法は從來一般に行はれた所の砂利，砂，セメントを同時にミキサに投入し水を加へて混合する方法と，セメントペーストを規定の水セメント比を以て豫め造り，之れを骨材に載せて同時にミキサに投入混合する方法とにして，その使用割合は略ぼ 3：1 に當る．又各現場に於ける混合時間は 1 分間混合が 9 箇所，1 分～1 分 30 秒が 5 箇所，1 分 30 秒～2 分が 3 箇所，2 分～5 分が 2 箇所，1 分に充たざる混合を行へる所も 4 箇所あつた．

［2］　現場コンクリートの強度

（1）　配合別に依るコンクリートの強度　　調査を行つた現場は橋梁工事と道路工事とが主なるものであるが，これ等の各同種工事現場に於て配合 1：2：4 或は 1：3：6 コンクリートの強度は如何なる値を示してゐるかを看んが爲，コンクリート供試體の壓縮試驗結果より各工事現場毎に同品質のものに就て平均强度を出し，更にそれ等の値の總平均値に對する比率を算出して第5表に示した．

此結果に依れば 1：2：4 コンクリートにあつては總平均値 192 kg/cm² にして，この

値に對して各工事現場毎の平均強度の比は 0.60～1.57 となり，總平均値に對して +57 %より −40 % 迄の間に亘つてその強度の相違を示してゐる．

1：3：6 コンクリートに於ては總平均強度は 131 kg/cm², 各工事現場毎の平均強度の比率は 1.96～0.42 の間にあり，總平均値に對して實に +96%より −58 % の廣範圍に散在する結果を示してゐる．各工事現場に於てはその特殊な施工條件に支配せられ施工の方法，季節を異にし，特に水セメント比に於て相當の差違があるから同品質コンクリートと雖その強度試驗の結果は同値を示さず或範圍の幅を生ずる事は固より當然であるが，兎も角同一材齡のものに就て最大 約 100% の差異あらを示し，殊に施工軟度に比較的特殊の要求を有すること少い道路用コンクリートに於て而も尙その差著しい事實を示してゐる．

次に各現場を通じて强度別に供試體の數を求め尙特に 1 橋梁現場に就て同樣に摘出表示すれば第 6 表の如し．卽ち 1：2：4 コンクリートの橋梁工事に使用せられた

第 5 表 現場別壓縮强度比較表

(1) 1：2：4 コンクリート

工事種類		試驗數	平均壓縮强度 (kg/cm²)	總平均値に對する比
橋梁	白鳥橋	3	301	1.57
	溜路 〃	3	230	1.20
	小松川 〃	6	213	1.11
	南平臺 〃	6	212	1.10
	長者 〃	6	203	1.06
	多摩川原 〃	12	171	0.89
	勝間 〃	6	170	0.89
	東雲 〃	5	152	0.79
	大成 〃	6	115	0.60
	平均		**196**	
鋪裝構造物	大宮國道	3	269	1.40
	東京港コンクリート矢板	9	129	0.67
	總平均		**192**	**1.00**

(2) 1：3：6 コンクリート

工事種類		試驗數	壓縮强度 (kg/cm²)	總平均値に對する比
橋梁	白鳥橋	2	162	1.24
	溜路 〃	6	83.7	0.64
	青山 〃	3	60.4	0.46
	桃園 〃	3	54.5	0.42
	平均		**90.1**	
鋪裝基層	澁谷區幡ヶ谷笹塚町	6	204	1.56
	淀橋區上落合	9	256	1.96
	杉並區高圓寺町	9	178	1.36
	江戸川區小岩町	12	159	1.21
	中野區相生町	9	136	1.04
	板橋區中新井町	6	131	1.00
	千葉縣津田沼町	9	110	0.84
	王子區岩淵町	18	85.3	0.65
	城東區大島町	18	76.2	0.58
	豐島區池袋町	3	230	1.75
	總平均		**131**	**1.00**

第6表　配合別によるコンクリートの強度

(1)　配合 1:2:4 コンクリート

壓縮強度の範圍 (kg/cm²)	小松川橋		その他の橋梁		其の他の工事	
	箇數	%	箇數	%	箇數	%
100以下	—		4	8.2	3	30.0
101～120	3	1.5	5	10.2	1	10.0
121～140	20	9.6	6	12.2	1	10.0
141～160	25	12.0	4	8.2	5	50.0
161～180	19	9.1	5	10.2		
181～200	25	12.0	6	12.2		
201～250	67	32.2	10	20.4		
251～300	41	19.7 (51.9%)	5	10.2 (53%)		
301以上	8	3.8	4	8.2		
計	208	100.0	49	100.0	10	100.0

(2)　配合 1:3:6 コンクリート

壓縮強度 (kg/cm²)	道路用コンクリート		橋臺コンクリート		備考
	個數	%	個數	%	
80以下	12	11.4	6	75.0	道路用 1:3:6 の强度小なるものは壁裏込又は基礎等の大量コンクリートとして用ひたるもの强度大なるものは鋪裝基層として用ひたるものである.
81～100	24	22.9			
101～120	12	11.4 (50.5%)			
121～140	17	16.2	1	12.5	
141～160	4	3.8			
161～180	10	9.5			
181～200	5	4.8 (50.9%)	1	12.5	
201～250	12	11.4			
251～300	6	5.7			
301以上	3	2.9			
計	105	100.0	8	100.0	

るものにあつてはその壓縮强度は 79～336 kg/cm² の廣範圍に亙つて比較的等分布を示してゐるが尙過半數は 160～300 kg/cm² の間に存在す. これを 1 箇所の現場に於けるものと比較すれば後者は 200～300 kg/cm² が過半數を占め, 强度變化の範圍は著しく縮少せるを見る. 1:3:6 コンクリートに於ては 80～140 kg/cm² の間にあるものが過半數となり, 1:2:4 コンクリートの橋梁一般と比較して, 强度は劣るも, 大部分の供驗體の示す强度變化の範圍は著しく縮少せるを示してゐる. 尙これ等のコンクリート强度の均等性に就ては更に後節に於て記述する.

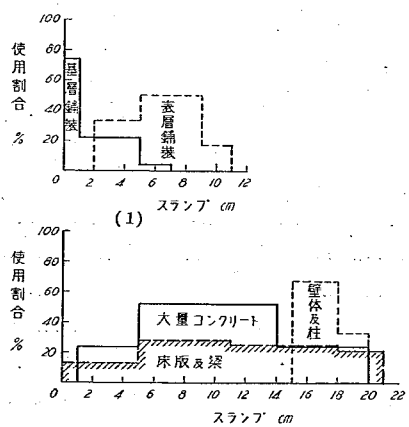
(2)　材料投入順序に依る混合法の比較　　コンクリートの混合方法に就ては, 材

料を各別にミキサに投入する通常混合法と豫めセメントペーストを作つて骨材と混合せしむる方法との2種を用ひてゐる事は既に述べた所であるが，この異る混合法に依つて壓縮強度に如何なる影響を生ずるかを 1：3：6 コンクリートに就て求むるにその結果は第7表の如くである．即ちセメントペーストに依れる場合には平均強度に於て普通混合の場合の約 1.7 倍の値を示してゐる．

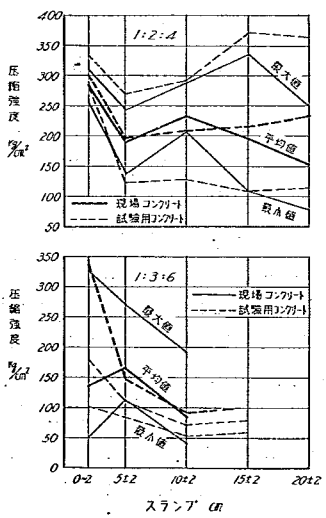
第7表　混合別に依る強度並に不均等係數比較
(鋪裝基層コンクリート)

混合方法		壓縮強度 (kg/cm²)	強度比率	不均等係數
普通混合	最大	272	250	22.0
	最小	53	48	2.5
	平均	109	100	11.6
セメントペーストに依る混合	最大	328	172	26.0
	最小	103	54	3.0
	平均	192	100	10.7

(3)　工事種類とスランプ　コンクリートの施工には工事の種類に依つてその必要とする施工軟度が定まるから，各現場の工事種類と使用コンクリートのスランプとの間には一定の傾向が見出し得る筈である．これを調査現場に就て看るに第5圖の如き結果を得た．即ち鋪裝の基層用コンクリートがスランプ最も小でその大部分は 1cm 以下なるを示し，表層鋪裝のスランプは 5～9cm が大半である．床版及梁にあつてはスランプ 5cm より 21cm 迄のものが殆ど同等の使用割合を示してゐるが，之は施工局所に



第5圖　工事種別とスランプ



第6圖　スランプと強度

依つて所要施工軟度が異り施工比較的容易なるものと相當困難なるものとを含める結果に依るものと考へられる.

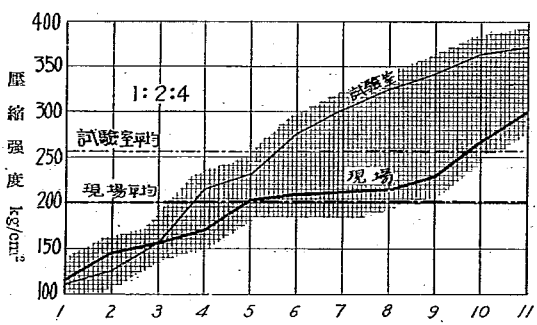
(4)　スランプと強度との關係　　スランプの大きさと強度との關係は第8表及第6圖に示す如く配合 1:2:4 に於ては現場コンクリート, 試驗用コンクリート共にスランプ小なるもの程強度大で, スランプ大なるものは強度の高低の差極めて大となり, 1:3:6 に於てはスランプ 3～5 cm 位のものが現場及試驗用コンクリート共にその強度の高低差少く概して平均強度も亦大である.

第8表　スランプ強度との關係

種類	配合		スランプ cm 2 以下	5±2	10±2	15±2	20±2
現場コンクリート	1:2:4	強度の極値 kg/cm²	2.55～308	139～243	207～289	106～336	79.2～252
		平均値 kg/cm²	284	190	233	197	153
		供試體數	5	7	3	22	14
	1:3:6	強度の極値 kg/cm²	52.6～328	115～272	42.6～194	—	—
		平均値 kg/cm²	137	166	88.9	—	—
		供試體數	95	10	4	—	—
試驗用コンクリート	1:2:4	強度の極値 kg/cm²	286～333	122～270	128～291	109～371	114～364
		平均値 kg/cm²	301	197	209	216	235
		供試體數	3	4	2	12	4
	1:3:6	強度の極値 kg/cm²	101～337	86.3～147	54.3～92.0	60.0～101	—
		平均値 kg/cm²	180	112	73.1	80.5	—
		供試體數	43	8	2	2	—

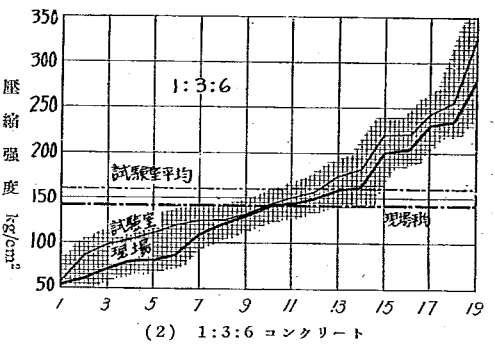
[3] 現場コンクリートと試驗用コンクリートとの比較

(1)　強度の比較　　現場コンクリートとその試驗用コンクリートとの強度を比較するため前記の各現場平均強度をその値の小なるものより順次配列し, これに對應する試驗用供試體平均強度を同一縱軸にとり, この關係を圖示せば第7圖の如くである. この結果より看るに 1:2:4 コンクリートにあつては現場コンクリート



(1)　1:2:4 コンクリート

の強度は試験用コンクリートに對して 66～116% に當り，一般に現場コンクリートの強度大なるもの程その試験用コンクリートとの割合は小であり，現場强度の小なるものにあつては却つて試験用コンクリートより强大なるものあるを示してゐる．各種工事を通じての平均値は現場總平均値は 192 kg/cm², これに對する試験用總平均値は 256kg/cm² にして，前者は後者の 77% に當る．1：3：6 コンクリートにあつては現場コンクリート及試験用コンクリートの强度は現場別及現場總平均共に兩者相接近し，その割合は現場別に於て は 72～100 %，總平均に於ては 88 % となり，何れの現場に於ても試験用コンクリートの强度が大である．



(2)　1:3:6 コンクリート

第7圖　現場コンクリートと試驗用コンクリートとの强度の比較

(2)　不均等性の比較　　供試體は現場コンクリート及試驗用コンクリート共に同種のものに對して3箇を1組として製作し，壓縮試驗を行つたから，同一條件にある1組の供試體より一般に3箇の試驗結果を得る．今この3箇の値の平均値に對して最大なるもの增大率，最小なるもの減小率を出し，その平均を以てその1組のコンクリートの强度の均等性を表はすものとし，不均等數 U と名付百分率を以て表はせば，U は次の如く求められる．

供試體1組の3値：$\sigma_a \geqq \sigma_b \geqq \sigma_c$

$$\sigma_0=\frac{1}{3}(\sigma_a+\sigma_b+\sigma_c)$$

$$U=\frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_a-\sigma_0}{\sigma_0}+\frac{\sigma_0-\sigma_c}{\sigma_0}\right)\times 100=\frac{1}{2}\frac{\sigma_a-\sigma_c}{\sigma_0}\times 100$$

現場コンクリート及之に對應する試驗用コンクリートの各箇供試體の壓縮試驗の結果よりこの不均等係數を求めその最大最小平均の値を表示せば第9表の如し．これに依れば 1：2：4，1：3：6 コンクリートは共に現場コンクリートは試驗用コンクリートに比して均等性劣り，

第9表　コンクリートの不均等係數

種類	配合	不均等係數		
		最大	最小	各組平均
現場コンクリート	1：2：4	±41.4	± 1.5	±13.4
	1：3：6	±22.5	± 2.5	±11.3
試驗用コンクリート	1：2：4	± 9.5	± 1.0	± 5.9
	1：3：6	±22.5	± 1.5	± 6.7

不均等係數の値に於て約2倍なるを示してゐる.

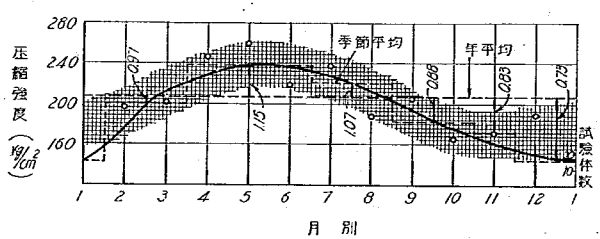
III. 現場コンクリートの強度に及ぼす施工季節, ミキサの容量の影響

[1] 施工季節の影響

コンクリートの強度はその施工季節に依つて著しい影響を受ける事は云ふ迄もない. 一般に冬季施工のコンクリートは他の季節に施工せるものに比較して相當に強度の劣ることは認められてゐるが, 然らば1ケ年春夏秋冬を通じて強度に如何なる變化が生ずるか, 最高強度を示す時期は何月か, この性質を明かにすることに依つて現場施工の時期を選擇決定すべき資料を求むるため, 調査せる工事現場中の1橋梁現場を選び, 1ケ年に亘り合計210箇の現場供試體を製作し, 施工季節の強度に及ぼす影響を調査した. 供試體の大きさ, 形狀は標準壓縮試驗體を用ひ, コンクリートの品質は配合1:2:4 水セメント比60～65% スランプは施工部分に依つて異るから 8.5～20.8cmの間に變化せるも15cm 程度が最も多かつた.

第 10 表　現場コンクリートの施工季節と強度の關係

作製年月	製作日氣溫 (℃)	供試體重量 (kg)	壓縮强さ (kg/cm²)
1月製作 (9箇平均)	9.7	12.56	123
2月〃 (6箇〃)	7.5	12.69	197
3月〃 (18箇〃)	10.5	12.66	202
4月〃 (9箇〃)	16.5	12.58	246
5月〃 (24箇〃)	20.2	12.54	259
6月〃 (30箇〃)	24.25	12.45	213
7月〃 (33箇〃)	24.1	12.46	237
8月〃 (15箇〃)	26.5	12.46	186
9月〃 (15箇〃)	24.7	12.49	199
10月〃 (15箇〃)	21.1	12.50	164
11月〃 (9箇〃)	19.0	12.42	172
12月〃 (27箇〃)	8.3	12.53	189



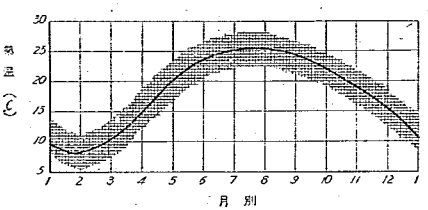
第 8 圖　現場コンクリートの施工季節と強度

試驗結果より供試體製作月別に平均値を

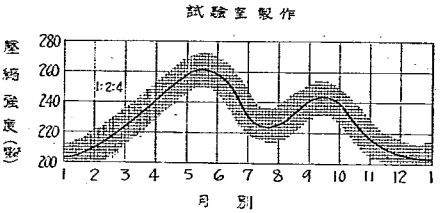
圖示すれば第8圖に小圖を以て記入したる如くなる．この各月に於ける月平均強度を比較するに5月に於けるものが最高値を示し，1月施工のものが最低値となり大體に於て同圖に曲線を描きたる如き變化をなすものと見ることが出來る．これ等各月平均値の中10月平均は著しく低く，これと對比して12月平均は却つて高く表はれてゐるのは冬季に於ける特別なる保溫方法の影響によるものであり，同時に月初と月末の影響，大氣の溫度其の他施工現場の氣溫以外の異る條件に左右される結果と考へられるが，これに依つてその大略の傾向は察知し得るであらう．更に季節別に強度の大きさを見るため，嚴冬(12，1月)，早春(2，3月)，盛春初夏(4，5，6月)，盛夏(7，8月)，秋(9，10月)，晩秋(11月)の6季節に分ち，各季節の平均強度を求むれば圖中破線を以て示したる如く，これを年平均値と比較するに盛春初夏に施工せるものにあつては15％の增大を示し，嚴冬季施工のものは27％の減少を示してゐる．この結果より春より初夏にかけて施工せるコンクリートは當然强く，冬季に於けるものは當然小なる事が明かとなり，冬季に於て當然示すべき強度の關係を知り得べく，一定品質のコンクリートの普通の施工法に依つて所要強度を得るために避くべき時期も推知し得る．而して上記各強度は何れも氣溫に應じて夫々通常行はるゝ養生を與へたる結果であるから嚴冬季の如くコンクリートの施工に極めて惡影響を與ふる時季に於ても尙且施工の不可避なる場合には特別なる養生方法を與ふるに非ざれば到底年平均強度に達せしむる事は困難である．又4，5，6月施工のものは當然年平均強度以上を示すものであるから，これを他の寒冷なる季節に施工せるものと比較して强度大なりと雖，これを以て直ちに優良なりとするは不當と考へられ，尙相當の增大は當然要求さるべきものである．

第9圖は上述と對應する每月の氣溫平均を示せるものである．

季節によるコンクリートの强度に就ては加奈陀オンタリオに於て行へる試驗も本試驗と同樣の結果を示し，8月に於て年平均の强度を示し，12，1，2月は强度著しく低下し，溫暖なる季節のものが强度大なる事を示してゐる．



第9圖　現場平均氣溫



第10圖　試驗用コンクリートの製作時季と强度

次に試驗用コンクリートに就てこの關係を見るに第 10 圖の如くにして，5，6 月に最大強度を示し，盛夏に至つて稍下るも初秋 9，10 月に再び强度昇り，以后漸次低下して嚴寒 1 月に最低となる．1 年を通じての平均強度は 229 kg/cm² にして大略 3，7，8 月 及び 10 月，11 月の中間に於ける値と一致することになる．各月平均强度の年平均强度に對する比率は第 11 表に示す如し．

第 11 表　試驗用コンクリートの製作時季による强度の變化

施工月	平均强度 (kg/cm²)	年平均に對する比率 (%)
1 月	204	89
2 月	210	91.5
3 月	224	98
4 月	241	105
5 月	258	112.5
6 月	258	112.5
7 月	231	101
8 月	225	98
9 月	241	105
10 月	239	104
11 月	216	94.5
12 月	206	90
平均	**229**	**100**

この試驗用コンクリートの各月平均强度の曲線を第 9 圖の氣溫曲線と對照するに，氣溫曲線の傾度最大なる月に夫々最大强度を示し，傾度零なる月には夫々最低强度を呈し，この兩者の間には極めて明瞭なる關係が表はれてゐる．

［2］　ミキサの容量によるコンクリートの均等性　コンクリートの强度の均等性は同一品種と雖その施工條件に依つて相當の差異を示す事は當然である．今その傾向の一を知る爲，ミキサの容量に就て考へ同容量ミキサを使用せ

第 12 表　1：2：4 コンクリート强度の不均等係數

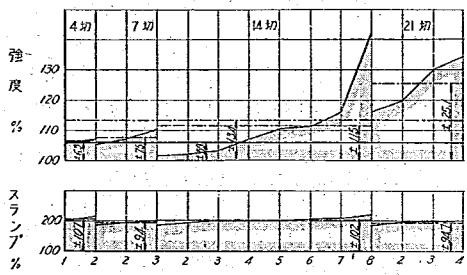
ミサキ容量 (切)	現場コンクリート		試驗用コンクリート	
	1 組平均壓縮强度 (kg/cm²)	不均等係數	1 組平均壓縮强度 (kg/cm²)	不均等係數
4	220	± 5.5	159	± 6
4	85.7	± 7	—	—
7	183	± 5	231	± 9
7	269	± 7	302	± 7.5
7	222	±10.5	—	—
14	97.6	± 1.5	—	—
14	149	± 2	111	±25
14	301	± 3	227	± 4
14	217	± 7	—	—
14	209	±10.5	216	±12
14	141	±11	—	—
14	165	±16	—	—
14	175	±41.5	126	± 2
21	136	±16	363	± 1
21	229	±20	341	± 9.5
21	241	±30	—	—
21	252	±34.5	—	—

第 13 表　1：3：6 コンクリート强度の不均等係數

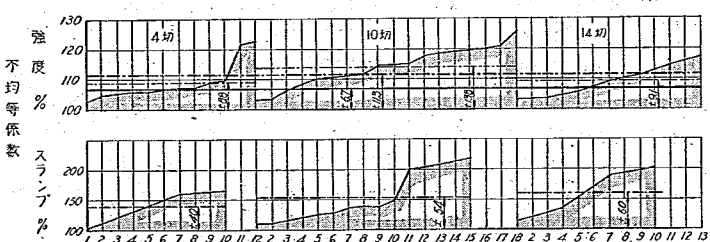
ミサキ容量 (切)	現場コンクリート		試驗用コンクリート	
	1 組平均壓縮强度 (kg/cm²)	不均等係數	1 組平均壓縮强度 (kg/cm²)	不均等係數
4	126	± 2.5	—	—
4	84.6	± 4.5	144	± 6.5
4	95.3	± 5	—	—
4	107	± 5.5	—	—
4	84.9	± 5.5	—	—
4	126	± 6.5	150	± 4.5
4	92.4	± 7	—	—
4	96.9	± 7	—	—
4	78.9	± 9	—	—
4	130	± 9.5	122	± 2
4	230	±21.5	183	± 9.5
4	85.4	±22.5	111	± 7
7	201	± 3	220	±25.5
7	175	± 3.5	103	± 2
7	60.4	± 8.5	57.9	± 5
7	122	±10.5	220	± 9
7	117	±11.5	—	—
7	134	±14.5	—	—
7	155	±14.5	—	—
7	211	±15	—	—
7	54.5	±18.5	88.7	± 3.5
7	132	±26	132	±10.5
14	317	± 3	—	—
14	251	± 3.5	244	± 9.5
14	216	± 5.5	176	± 9.5
14	235	± 9	256	± 1.5
14	191	±11	—	—
14	148	±14.5	—	—
14	151	±17.5	330	± 2
14	162	±20	98.7	± 5.5

る各現場コンクリート均等性を求め，更にミキサの容量を異にする場合の均等性の變化に就て比較を行つてみる．各供試體を使用ミキサの容量に依つて分類し，それ等の壓縮强度及各組の不均等係數を表示せば第 11 表及第 12 表の如し．これを圖示すれば第 11 圖及第 12 圖となる．同圖中實細線は各 3 箇 1 組の供試體に對する不均等係數より 100+U をミキサの容量毎に小なるものより配列したるもので，細鎖線は同容量ミキサを使用せるもの平均値，各種容量ミキサを通じての平均値は太鎖線を以て示したもの，試驗用コンクリートの平均値は太實線を以て描いた．この 2 圖に示せる結果よりミキサの容量小なる

ものはコンクリートの均等性に富むも容量大なるに從つて均等性は不良となり，同容量ミキサに依る不均等係數を 1：2：4 コンクリートに就いて比較するに 21 切ミキサを使用した場合は，4 切7切ミキサ使用の場合の約4倍に當るをみる．卽ち第 13 圖に示す如くなる．從つて容量大なるミキサを使用する場合に容量小なるものと同樣なる均等程度のコンクリートを得るためには更に混合時間を增すか或は混合能率を增大すべき特殊な構造のミキサを用ふる

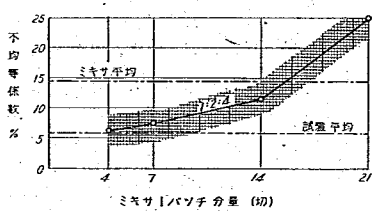


第 11 圖　1:2:4 コンクリートの不均等係數



第 12 圖　1:3:6 コンクリートの不均等係數

ことが必要で通常現場に於て行はるゝ如き混合時間の增長では尙上記の如く著しく不均質なる事を免れない．1：3：6 コンクリートにあつては 14 切ミキサに對する不均等係數の平均は 10 切のものより小なる結果を示してゐるが，これは 14 切ミキサを使用せる供試體僅少なりし爲 14 切ミキサに對する普通の均等性が見出し得なかつた結果に因るものと考へられる．4 切と 10 切とを比較するときは 1：2：4 に於けると同樣の傾向が見出せる．次にスランプの大きさに就て强度の不均等係數を求めたると同樣な方法を以て不均等係數を出し圖示せるものが兩圖下段に描きたるものである．スランプの不均等係數は 1：2：4 コンクリートにあつては各容量のミキサ共約 ±100％ を示し，ミキサの容量による不均等性の變化は殆

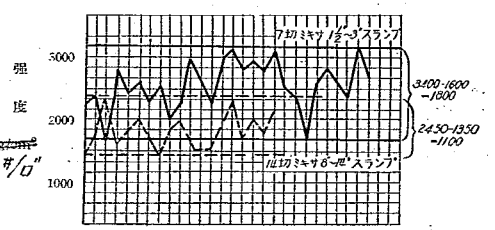


第 13 圖　ミキサの容量と不均等係數

ど認められない．1：3：6 コンクリートにあつては同容量ミキサを使用せるもの>中での不均等係數の變化は相當の範圍を示し，容量異るミキサを使用した場合には各同容量ミキサ平均の不均等係數はミキサの容量の大なるに從つて增大する傾向が認められる．

以上は何れも小型ミキサほど均等性のコンクリートを得る事を示すものであるが，之は現在の如く材料の計量を重量で行ひ水量を正確に計量する統制ある混合を行ふ場合である．

若し個々のバツチの材料計量に幾分の差異があり，水量を目分量で定むるが如き不統制の現場に於ては，各バツチ分の均等性を缺く事大なるが故にミキサの小型のほどバツチ數が多く，バツチ數の多いほど不均等性が大となる．米國イリノイ州に於てインメルコンストラクション會社の施工せるコンクリート現場の1924～5 年の成績は第 14 圖の如くミキサの大型なるほど强度の差違が少く均等性の優つてゐることを示してゐる．



第 14 圖　ミキサ各バツチの强度の差異

IV. 要　　約

1. 調査を行ひたる各現場に於てはコンクートの混合に手練りを用ふものはなく，總てミキサを使用し，その容量は 4 切～21 切で裝入量は容量小なるもの程規定容量に近く裝入混合してゐる．

2. 材料の計量にはセメントの袋數を基本として砂，砂利の量を定め，それ等の計量も正確な容器を以てなし容器に充たざる端數量も目分量にて定むる如きものはなかつた．ミキサの混合時間は 1 分乃至 1 分 30 秒が大半である．

3. 現場コンクリートの壓縮强度は下記の如し．

配　　合	全現場總平均强度	總平均强度に對する各現場平均强度の比率
1 : 2 : 4	192 kg/cm²	0.60～1.57
1 : 3 : 6	131 〃	0.42～1.96

各供試體個々の壓縮强さは 1：2：4 にあつては 160～300 kg/cm²，1：3：6 にあつては 80～140 kg/cm² が過半數を占めてゐる．コンクリートの混合に當つて豫めセメン

トペーストを作つて骨材と混合せしめたる場合は材料を各別にミキサに投入混合せしめたる場合に比較して 1.7 倍の強度を示してゐる.

4. スランプは概ね工事種類に依つて定まりその使用割合が 50% 以上となるスランプを示さば下記の如し.

基層鋪裝	0～1 cm
表層鋪裝	5～9 〃
壁體及柱	15～20 〃
大量コンクリート	5～14 〃

5. 現場及試驗用コンクリートの强度を比較すれば下の如し.

配合	平均壓縮强度 kg/cm²			不均等係數	
	現場	試驗用	比率(%)	現場	試驗
1:2:4	196	256	77	13.4	5.9
1:3:6	140	160	88	11.3	6.7

强度の均等性は不均等係數に於て前者は後者の約2倍である.

6. 施工季節によるコンクリートの强度は溫暖なる季節に最高强度を示し, 盛夏に於ては幾分低下し, 嚴寒には最も低い. 調査の結果より 4, 5, 6 月に於ける施工のものは年平均の 1.15 倍, 12, 1 月施工のものは 0.73 倍なるを得た.

7. ミキサの容量に依る均等性は各 バツチ に於ける材料の計量が正確に行はれる場合にはミキサの容量小なるもの程强度の差異少いものを得, 不均等係數にて比較すれば各容量ミキサに對して次の結果を得た.

ミキサの容量(切)	强度の不均等係數
4	6.3
7	7.5
14	11.5
21	25.1

本試驗の供試體製作及試驗は大野技師之を擔當し, 齋井技師は之が整理取纒めを行ひ, 後松村技師之を引繼ぎ, 終りに佐藤技師本報告を取纒めたものである. 而して本試驗の實施に當つて前記各現場工事擔當者の協力を受け し事極めて大なるものあり, 又試驗に當り細山技手の助力を俟ちし事少からず. 爰に厚く謝意を表す.

現場に於ける瀝青乳劑製造の設備及び製法竝にその乳劑の性質に關する試驗

內務技師　西　川　榮　三
福　島　彌　六

目　次

緒　言……(1)
I. K- 現場乳劑の目的及使用法……(2)
II. 現場製造乳劑の要件……(2)
III. 現場乳劑に對する試驗……(4)
IV. K- 現場アスファルト乳劑の製法に關する調査……(4)
［1］既往の K- 現場製造アスファルト乳劑の成績……(4)
［2］K- 現場製法……(5)
［3］乳劑(K- 現場)の第2次試驗……(7)
［4］乳化溶液に就て……(8)
V. 第3次乳劑(O-現場)の性質及製法に就て……(13)
［1］O-現場製造アスファルト乳劑の一般性質(第3次試驗)……(13)
［2］上記乳劑に使用せる乳化劑其の他の藥品及乳化溶液……(14)
VI. 現場製造撒布透入用乳劑についての注意事項……(15)
［1］現場乳劑製造上の注意……(15)
［2］出來上り乳劑の使用……(15)
［3］乳化溶液……(15)
［4］現場乳劑に關する試驗……(16)
［5］現場試驗の設備及方法……(17)
VII. 現場製造各種乳劑の研究……(18)
［1］試料とせるアスファルト及乳化劑，安定劑其の他化學藥品……(18)
［2］乳化溶液の調合……(19)
［3］乳化溶液の性質……(21)
［4］乳化操作及乳化狀態……(24)
［5］試製アスファルト乳劑の一般性質……(24)
［6］實驗結果の考察及概括……(33)
VIII. 要　約……(34)

緒　言

昭和 10 年某現場に於て鋪裝用撒布アスファルト乳劑の性質及現場製法の調査研究につき依頼せられたるに就き，調査研究せる結果は，一般現場製造撒布乳劑の性質及び製法に

關しても參考となし得るを以てこゝに記載することとした．尙，其の後，現場に於ては，混合法用乳劑及び維持修繕等の目的に供する濃厚乳劑等をも必要とする場合あるを考へ，更に之等乳劑をも考慮に入れて，乳劑の性質及び用途等に及ぼす乳化溶液の影響につき研究し，其の結果をも包含せしめて，本報告を發表することとした．本研究中試製乳化溶液及試製乳劑に關する實驗は主として福島彌六之を擔當した．

I. K-現場乳劑の目的及び使用法

アスファルト乳劑の良否を判定するには，其の用法と相關聯して考察するを要するを以て，次に K-現場乳劑の目的及用法につき概說する．

K-現場に於ては，鋪設箇所に近き現場乳劑プラントに於て，アスファルト乳劑を製造し，製造後長期の貯藏を行ふ事なく，2 噸入タンク・カーに移入し，之を鋪設箇所に運び，未だ冷却し切らずして相當溫度を保てる間に，工事に使用するものである．

鋪裝は 3 層，3 回撒，乳劑マカダムの工法によりて築造せられ，乳劑の撒布は，2 噸入タンク・カーを以て行ひ，タンク・カーには加壓撒布裝置を備へ，空氣壓搾器によりて約 40 lb/in^2 の壓力の下に，徑約 1/8″ (六角形) の多數の噴出口より，乳劑を射出し得る樣裝備してある．

碎石撒布，敷均し，輾壓等の後，乳劑の撒布を行ふが，之には上記のタンク・カーを一定速度にて前進せしめつゝ，一定壓力の下に行ふを以て，撒布の不均等を免るゝと共に，其の壓力によりて，よく碎石各面を被覆し得，且つ從來の手撒法に比すれば，作業は頗る迅速である．尙乳劑は相當の溫度を保てるを以て，其の中の水分の蒸發も早く，使用後，乳劑の乾燥分解早き利點がある．

II. 現場製造乳劑の要件

上記の如き用法に對する乳劑は，一般市場製品たる撒布乳劑に比して，次の諸點に於て其の要件を稍〻異にする．之等の點を列擧すれば，

1. 外觀　外觀檢査に於て，市上乳劑は其の質の均等なることを要求せられて居るがこの點については，現場乳劑も同樣である．

2. 比重　市上乳劑の比重は，製品の種類によりて一定して居ないが，現場乳劑の比重は，なるべく使用アスファルトの比重に近きものたるをよしとす．

3. エングラー比粘度　市上撒布用乳劑に於ては，エングラー比粘度は 25°C 及 4°C の兩種溫度に於て規格せられて居るが，本乳劑の如く，相當の溫度を保持する間に使用するものにありては，25°C 比粘度を 2.0～8.0 の間に保つのみで充分である．

4. 瀝青質殘留物(%)　市上撒布用乳劑に於ては，50％以上と規格せられて居るが，現場乳劑にても，この程度を保持せしむることは困難ならざるを以て，50％以上とする．尚，瀝青質殘留物の量は，一定工事の期間を通じて不規則なる變化なきことを要する．加壓撒布法によりて均等なる撒布を行ひ得たりとするも，瀝青質殘留物量に著しき變化ある時は鋪裝内の瀝青含有量に不同を生ずべし．

若し，現場乳劑製造機の狀態により，瀝青質殘留物量 50％ 以上を保つに甚しき困難ある場合は，假ひ之を 45％ 以上位に低下するも，其の含有量の均等性を保たしむるを得策とすべし．然しながら，之以上稀薄なる乳劑は，なるべく其の使用を回避するをよしとす．尚この點については，其の製法を加減することにより，ある範圍に於て，自由に之を調節し得べきを以て，なるべく現場に於て瀝青質殘留物量を試驗し之を適當に調節すべきものである．

5. 瀝青質殘留物の性質　市上撒布用乳劑に於ては，針度 (25°C)…70～200，延性 (25°C)…≧80，蒸發減 (163°C)…≦3.0％ と規格せられて居るが，現場乳劑に於ては，この範圍内にて適當に指定するをよしとす．針度の指定は，通常，100～200 位の範圍にて行ふが普通である．

6. 貯藏安定度　市上乳劑に於ては，7 日靜置後の測定に於て，貯藏安定度 10％ 以下と規格せられて居るが，之はやゝ長期の貯藏をも考慮せる故である．

現場乳劑は，一般には，製造後，長く貯藏することなくして使用すべきものであるから，上記の如く嚴格なる安定度を必要としない．然しながら，安定度あまりに不完全なものは乳化不充分を示すものにして，其の質劣等であり，粗粒を含み，且つ瀝青質殘留物量に變化を起し易い缺點があるから，現場乳劑としては，著しき凝集現象なく，且つ其の中の瀝青質粒子の沈降或は浮上り現象の甚しからざるを目標とすべきである．尚現場乳劑と雖も工事進行の都合により，之をある期間貯藏する必要の生ずることもあり得るから，安定度は良好なるほど都合がよいのは勿論である．

7. 低溫安定度　冬期貯藏中に於て凍結の虞ある場合は，市上乳劑に於ては，低溫安定度の良好なるを必要とするも，現場乳劑にては，かゝる場合は少きを以て，普通の場合は，この點は餘り考慮の必要がなからう．

8. 分解速度　分解速度に關しては市上品と同樣 5～120 分を目標とする．

9. 被膜の性質　被膜も良好なるを必要とす．

上記の各項を要約し，兩者を比較すれば第１表の如し．

第 1 表 現場乳劑及市上乳劑の要件比較 (但し撒布用)

項目	現場乳劑要件	市上乳劑要件
1. 外觀.	品質均等なるべし	同左
2. 比重 25°/25°C	なるべくアスファルトの比重に近からしむ	同一工場同種製品に對しては 0.01 以上の變化なき事を要す
3. エングラー比粘度		
50 cc 25°C	2.0～8.0	2.0～8.0
50 cc 4°C	……	25°C 實測比粘度の 2.5 倍 以下
4. 瀝青質殘留物 % (乳化劑, 安定劑を含む)	50.0 以上 (或は 45.0 以上) 但し 5.0 以上 (±2.5) の變化なかるべし	50.0 以上. 同種製品に對しては 5.0 以上の變化なかるべし
5. 同上性質		
針度 25°C, 100g, 5sec	100～200	70～200
延性 25°C, 5cm/min	……	≧80
蒸發減 163°C, 50g, 5h %	……	≦3.0
6. 貯藏安定度	3 日靜置して著しき凝集沈降或は浮上りなきことを要す	7 日靜置 ≦10.0%
7. 低溫安定度	……	良
8. 分解速度 分	5～120	同左
9. 被膜の狀態	良	良

III. 現場乳劑に對する試驗

現場乳劑の製法が確定せる場合, 又は變更せる場合は, 其の乳劑中より適當なる方法により試料 (10 liter) を採取し, 密封して試驗所に送り, 現場乳劑要件に對する試驗を行ひ不良の點あらば製法を改良する必要がある. もし要件全部に對して合格する時は, 製法に根本的缺陷なきものと認定して差支ない. 然しながら, 乳劑製造に於ては, 瀝青質殘留物の量は, 之を一定に保つに困難多きを以て, 次の 3 項目に對しては, 現場に於て時々試驗し, 製品の均一性を失はざる樣注意することが肝要である.

i) 比重　ii) 瀝青質殘留物量　iii) 分解時間及び被膜の狀態

IV. K- 現場アスファルト乳劑の製法に關する調査

[1] 既往の K- 現場製造アスファルト乳劑の成績

昭和 10 年 11 月初旬 K-現場より送附せられたるアスファルト乳劑の試驗成績は, 次の如き性狀を有して居た. (第 1 次試驗)

1. 外觀　黑褐色にして稍〻均等を缺き, 之を靜置すれば, アスファルト分は上

方に浮上り，容器底に近き部分には，アスファルト分減少し，3 日間貯藏安定度は －41.4 %を示し，乳化不充分の感があつた．

2. 比重 25°/25°C　1.016 にして，市場普通乳剤及アスファルトの比重に比し，本乳剤は比重大にして，乳化剤，安定剤のいづれかを多量に使用し，乳化溶液の比重大なるを想像せしむ．

3. エングラー比粘度 25°C　1.3 にして市場普通乳剤よりも甚だ少く，製法に缺陷あるを豫想せしめた．

4. 瀝青質殘留物量　37.5% にして，甚だ低くこの點に於ても缺陷を認む．

5. 瀝青質殘留物性質　針度 (25°C, 100g, 5sec) は 144; 延性 (15°C, 5 cm/min) は 100 以上にして良質であり，使用せる原料アスファルトは良質のものと推定せられた．

6. 分解速度　約 20 分にして，其の被膜の狀態は良好であつた．

上記の試驗成績より見るに，原料アスファルトは不良にあらずして，乳化の方法，殊に乳化劑，安定劑の選擇及其の使用量並に他の條件に何等かの缺點あるを疑はしめる．

［2］ K- 現場製法

上記の如く乳化方法に改良の餘地あるを知りたるを以て，其の製法を現場につき調査せるに概略下記の如くであつた．

a. 乳劑原料

アスファルト　アスファルトは某石油會社製品にして針度 130～180，昭和 10 年 11 月 15 日現場にて之が試料を採取し，土木試驗所に於て試驗せるに，其の一般性狀は良好にして，

針度 25°C, 100 g, 5 sec……165　　比重 25°/25°C……1.007

であつた．この比重を上記乳劑の比重と比較するに，乳劑比重は遙かに大であり，從つて乳化溶液比重の大なることが考へられる．卽ち，乳化劑，安定劑のいづれかが過量なるものと疑はれる．

乳化溶液　乳化溶液は，熱湯 100 に對して，珪酸ソーダ 2.0%，石鹸 (A) 0.3 % を使用し，之を混合溶解せるものなる由．石鹸 (A) は粉末石鹸．

然るに本石鹸 (A) はアルコール不溶解分多く，溶解後固形物を殘すもので，乳化機能不完全であつた．

尙，現場に於て，之等の試料を採取し，土木試驗所に於て試驗せる結果は次の如くである．

珪酸ソーダ 1.7% 溶液比重		1.006
同	反應	アルカリ性 (リトマス及フエノール•フタレイン)
同	P_H	11 以下

石鹸 (A)

水　分　20.38%,　　總脂肪質物質　少量にして測定困難,

アルコール不溶分　66.02%,　　石鹸概量　13.60%,

上記試驗成績に依るに，石鹸 (A) は石鹸分少く，アルコール不溶分多く，且つアルコール不溶分は主として無機物よりなり，乳化劑としては効力少きものと認められ，乳化溶液は比重大にして，乳劑中アスファルト微粒子の浮上り現象の起因となり，且つ溶液は乳化能力弱き爲，乳化不充分を惹起したるもので，乳化溶液中珪酸ソーダ過多，石鹸不良等の點につき改良の必要なることが推測せられた．

b. 乳化前の操作　アスファルトは鐵製アスファルト・タンク中にて熔融し，120°C 前後に加熱して，パイプを通じて乳化機に送る．乳化溶液は，小なる乳化溶液調製槽中にて熱湯と規定量の石鹸 (A) 及珪酸ソーダを混合攪拌して調製し，之を乳化機に送る．其の溫度は 80～95°C である．

この乳化溶液調製法は，やゝもすれば，溶解不充分となり勝にして，未溶解石鹸末を液中に含み，却りて乳化の妨害をなす傾向あるを以て，この點にも改良の餘地を認めた．

卽ち上記の如く，乳化溶液の調製を少量づゝ行ふことを止め，之を大タンクにて行ひ，充分攪拌混合して溶解を完全ならしめ，然る後に其の不溶解粗粒分を去り，溶液の部分のみを乳化機に送るべく考案するをよしとする．

c. 乳化操作　乳化操作は，ハレル型の和製 30 トン乳化機に依るもので，乳化機はモーターにより運轉せらる．熔融アスファルト及乳化溶液は各別個のパイプにより同一注入口に導かれ，其の送入量は，コック・マンがコックを加減することによりて調節せられる．コックの開き加減を一定にすれば，各液の注入量は一定となるべき理なるも，事實は然らず，各液の Head，溫度等が必ずしも一定ならざる爲に，乳化狀況を監視しつゝ常にコックの開度を，加減する必要がある．この操作が當を得ざる時は，やゝもすれば，出來上り乳劑中の遊離物質含有量に變化を來し易きを以て，コック・マンとしては最も熟練せる者を必要とする．

d. タンク　乳化機より出でたる乳劑は 2 個の木製タンクに送り込まれ，使用前少時貯藏せられる．現場乳劑の安定度はあまり嚴格に規格せられざるを以て，タンク中の乳劑は，上部及下部に於て其の濃度を異にすることなしとせず，從つてタンク中に適當なる攪拌器を設くるか，或はポンプを利用してタンク中乳劑を上下に巡還流動せしめ製品の均一性を保たしむるを要する．

e. 出來上り乳劑の使用　出來上り乳劑は，ポンプにより，タンク中より，加壓撒布用タンク・カーに流入せしめて使用せられて居る．現場乳劑はなるべく早く使用すべく，

又一旦製造を中止せる後，更に製造にかゝる際は，其の初期に於ては性質不充分の乳劑を得ることあるを以て，適當考慮を拂ふことを要する．

[3] 乳劑 (K-現場) の第2次試驗

上記の如く，既往の成績にやゝ缺陷を認め，且つ乳劑製法上に考慮すべき餘地あるを知りたるを以て，乳化劑たる石鹸の種類を改め，新しく石鹸 (B) を使用し，且つ乳化劑，安定劑等の使用量を變化して，製造を行はしめ，出來上り乳劑を採取し，土木試驗所に於て試驗を行ひたるに，其の成績は第2表の如く改良せられた．

第2表によれば，既往の乳劑に比し，品質は遙かに向上して均等なるものとなり，比重は低下し，浮上り現象は著く減少し，乳化狀態良好となり，3日間安定度は優良となつた．比粘度も向上し，瀝青質殘留物量は充分となり，其の針度も原アスファルトの165に比し殆ど變化なく，之を要するに既往の乳劑に比し，其の品質は一變したるを認めることが出來た．

第2表　第2次 (10. 11. 15 日採取)
K-現場乳劑試驗成績

項　　目	第2次 乳 劑 (No. 2537)	この場合本乳劑要件
1. 外觀	黑褐色均等	均　等
2. 比重 25°/25°C	1.012	この場合は 1.007 に近きをよしとす
3. エングラー比粘度, 25°C	2.3	2.0～8.0
4. 瀝青質殘留物　%	52.4	≧50
5. 同上針度, 25°C	163	120～200 (原アスファルトは 165 なり，なるべくこれに近きをよしとす)
6. 同上延性　15°C	>100	≧80 (25°C)
7. 貯藏安定度　3 日　%	−5.4	3 日靜置して，著しき凝集，沈降，浮上り等なきこと
8. 分解速度　分	20	5～120
9. 被膜の狀態	良	良

この程度の乳劑は，現場使用可能である．然しながら，尙之を改良すれば，微粒子浮上りを更に減少せしめ，一層貯藏安定度を良好ならしめうる餘地がある．

上記乳劑に使用せられたる乳化溶液は石鹸 (B) 0.3%，珪酸ソーダ 1.7% を含むものと言はれる，當所に於て之れに使用せる石鹸 (B) の性質を檢したるに

石鹸 (B)……粉末石鹸．

水　分	17.71%	總脂肪質物質	32.74
石鹸概量	24.58	アルコール不溶分	57.71
灰　分	51.43		

にして，石鹸 (A) に比すれば，石鹸分に富むものであつた．

[4] 乳化溶液に就て

既往乳劑の不成績は，主として乳化溶液の不良によるものにして，第2次乳劑の品質向上は乳化溶液の向上に負ふ所大である．故に本件の場合は乳化溶液について更に考察するに次の各項につき注意するを要する．

1. 乳劑中の微粒子の浮上り或は沈降を防ぐ方法として，本件の場合は乳化溶液の比重を 1.007 (アスファルト比重) に近づくること．

2. 乳化溶液の乳化能力及安定能力を充分ならしむる爲，石鹸分多き乳化劑を使用し，且つ溶液のアルカリ性度を適當に保つこと，卽 $P_H \geqslant 12.0$ 位に保つこと．

この意味にて，K- 現場採取乳化溶液及び本實驗室にて石鹸 (B), 珪酸ソーダ，ゼラチン，カゼイン，ベントナイト，苛性ソーダ等を以て數種の乳化溶液を作り，比重及 P_H を測定したるに，其の成績は第3表の如くである．

第 3 表 乳化溶液の調合と其の性質

溶液種別	調合 石鹸 (B)	調合 アルカリ NaOH	調合 安定劑 ゼラチン	調合 安定劑 珪酸ソーダ	溶液中石鹸概量	アルカリ性度 P_H	アルカリ性度 測定時の温度	溶液比重 25°/25°C	備考
	%	%	%	%	%		°C		
現場採取溶液	x (0.3)	0	0	y (1.0)	z	11.33	15.0	1.014	比重大，P_H 少く浮上りを起すものと考へらる．
實驗室調製									
[1]	0.3	0.2	0	0	0.075	12.20	14.6	1.002	比重小．
[2]	0.3	0.2	0.2	0.5	0.075	12.10	15.6	1.007	アスファルト比重と同じ．
[3]	0.6	0.4	0	0	0.15	11.98	15.5	1.005	
[4]	0.6	0.4	0.2	1.0	0.15	11.92	15.5	1.012	
[5]	0.5	0.3	0.2	0	0.125	11.97	19.0	1.005	

註 1. 石鹸 (B) は石鹸概量約 25% を含む．

2. 現場採取溶液は，K-現場に於て開取れる調合は，石鹸 (B) 0.3%，珪酸ソーダ 1.0% なるも，珪酸ソーダ (含水) 1.7% の溶液は比重 25°/25°C=1.006 にして，石鹸 (B) (含水) 0.3% を混ずるも，其の比重は 1.014 までは上らず，從つて開取の % は測定比重と相對應せず．

3. 調合の欄の數字は含水のまゝの%

4. [3], [4], [5] に對する P_H の實測値はやゝ低き感あり．

第3表に依れば，K-現場採取溶液は比重大にして浮上り現象を起しうべく，恐らく珪酸ソーダ量過多なるものなるべく，P_H は小にしてアルカリ添加の必要を認める．實驗室調製溶液の中，[1] は比重小に過ぎ，且つ [1], [2] は石鹸分稍〻少きに失する．[3], [4], [5] は石鹸分は之より多く，相當乳化力をもち，P_H も 12.0 前後にして安定能力もあるものと

推定せられる．比重の點より見れば，[4] は稍〻大である．これ等の點より見れば，

石鹸 (B) …… 0.3～0.6%，　　アルカリ……0.2～0.4%，

ゼラチン……0～0.2
珪酸ソーダ……0～0.5　} %兩者いづれかを用ゐる．

P_H…… 12.0 位，　　比重…… 1.008位．

の溶液は本件の場合に適當なるものであらう．

上記の實驗により，乳化溶液調合につき，大約の概念を得たるを以て，石鹸 (s.s)，其の他の石鹸，苛性ソーダ，諸種安定劑を用ゐ 12 種の乳化溶液を造り，乳化溶液の性質，出來上り乳劑の性質を檢したるに次の如し．

本實驗に使用した石鹸の性質は第 4 表に示す如し．(試製實驗 A-I)

第 4 表　乳化溶液に使用したる石鹸の分析 (A-I)

番號	石鹸種別	1	2	3			4	5	6
		水分 %	脂肪質物質總量	分別せる脂肪酸の特徴			アルカリ及無機物質 %	遊離アルカリ，或は遊離酸	0.25% 溶液の反應 (フエノールフタレイン)
				酸價	鹸化價	沃素價			
1	S.S	17.7	32.7	……	……	……	51.4	アルカリ性	赤
2	O.K	28.3	80.5	191.5	196.0	72.1	11.8	アルカリ微量	微赤
3	F.Na	28.6	84.2	189.2	198.4	110.5	13.3	酸微量	
4	R.Na(1)	28.5	85.5	163.2	166.4	131.4	11.8	アルカリ微量	
5	Na.Se(L)	……	……	……	……	……	……	……	
6	R.Na(2)	26.2	86.2	199.2	200.8	75.2	12.4	同上	

註　1.「水分」を除く他の項目は無水物に對する數値である．

2. 石鹸 S.S は粉狀，ソーダ石鹸にして，前述石鹸 (B) と同じ．
O. K はカリ石鹸にして軟質のもの．
F. Na, R. Na (1) は軟質ソーダ石鹸．この中後者は樹脂石鹸 (Resin soap)
Na. Se (L) はソーダ石鹸．
R. Na (2) は樹脂石鹸に類するも，樹脂分少し．

3. S.S の無機物は灰分の量を示す．

卽ち S.S はアルカリ以外の無機粉末を多量に含み，石鹸分少し．其の他の石鹸は，水分アルカリ以外に無機物少く，石鹸分に富むものである．

12 種の乳化溶液の調合は第 5 表の如くである．本表によれば，石鹸 S.S は石鹸分少き爲，他の石鹸と同量を使用するも，溶液中の石鹸分 (石鹸概量) は遙かに少い．

第 5 表の各溶液の性質は第 6 表の如くである．12 種の溶液中，No. 1 はアルカリ性度小に過ぎ，No. 4 は乳化劑少量に過ぎ，No. 1 乃至 No. 5 は，No. 6 以下に比し石鹸分少し．

第 5 表 各種乳化溶液の調合 (A-I)

乳化溶液	石鹸			アルカリ (NaOH)	安定剤 (含水のまゝ)			
番號	種別	含水のまゝ %	石鹸擦量 %	含水のまゝ %	珪酸ソーダ %	ゼラチン %	カゼイン %	ベントナイト %
No. 1	S.S	0.37	0.09	……	1.0	……	……	……
No. 2	S.S	0.37	0.09	0.2	0.5	0.2	……	……
No. 3	S.S	0.49	0.12	0.25	……	……	……	……
No. 4	S.S	0.24	0.06	0.2	……	……	0.2	……
No. 5	S.S	0.49	0.12	0.25	……	……	……	0.4
No. 6	O.K	0.56	0.4	0.25	……	……	0.3	0.2
No. 7	F.Na.	0.56	0.4	0.25	……	……	0.3	0.2
No. 8	R.Na.	0.56	0.4	0.25	……	……	0.3	0.2
No. 9	Na.Se(L)	0.25	0.2	0.25	……	……	0.3	0.2
No. 10	S.S	1.50	0.4	0.4	……	……	0.5	0.5
No. 11	O.K	0.7	0.5	0.4	……	……	0.5	0.5
No. 12	F.Na	1.40	1.0	0.4	……	……	0.5	0.5

註 1. 石鹸使用量を無水物に換算すれば，夫々次の如し．

No. 1 …… 0.3% No. 4 …… 0.2 No. 7 …… 0.4 No.10 …… 1.0
No. 2 …… 0.3 No. 5 …… 0.4 No. 8 …… 0.4 No.11 …… 0.5
No. 3 …… 0.4 No. 6 …… 0.4 No. 9 …… 0.4 No.12 …… 1.0

2. No. 1 より No. 5 までは石鹸 S.S, No. 6～No. 9までは其他の石鹸を用ゐ，透入法用乳剤を目的とする．No. 10 より No. 12 は参考として混合法用乳剤を目的とした．

第 6 表 各種乳化溶液の性質 (A-I)

溶液番號	比重 25°/25°C	アルカリ性度 P_H	アルカリ性度 °C	粘度25°C Poise × 10^3	表面張力 25°C dyne/cm	對ケロシン界面張力 dyne/cm	全藥品量(2) %	石鹸分以外の藥品量(2) %
No. 1	1.008	11.15	16.0	9.39	33.3	滴下法にては，完全なる滴肢をなさず，半流出或は流出	1.3	1.2
No. 2	1.007	12.10	15.6	9.20	33.7		1.2	1.1
No. 3	1.005	11.98	16.5	9.16	34.8		0.65	0.53
No. 4	1.006	12.30	〃	9.27	35.9		0.6	0.54
No. 5	1.008	12.38	〃	9.03	34.4		1.05	0.93
No. 6	1.006	12.44	16.5	5.92(1)	37.8	同上	1.15	0.75
No. 7	1.006	11.87	〃	9.87	36.8		1.15	0.75
No. 8	1.006	11.70	17.0	9.66	38.9		1.15	0.75
No. 9	1.005	12.37	17.2	6.24(1)	38.6		0.95	0.75
No. 10	1.012	12.36	17.5	9.76	33.7	同上	2.4	2.1
No. 11	1.010	12.61	〃	6.78(1)	38.3		1.9	1.4
No. 12	1.010	12.32	〃	10.03	35.7		2.4	1.4

(1) 25°C の粘度稍〻高き見込にて，50°C にて測定せる數値．
(2) 原藥品中の水分をも含む．

上記各種溶液を用ゐ，實驗室用小型（L 型）ハレル・ホモヂナイザーを以て，乳剤を試製し，其の性狀を試驗すれば第7表及び寫眞第1の如くである．

第 7 表　乳化溶液を異にする乳劑の性質比較…A—I

番號	比重 25°/25°C	比粘度 エングラー 25°C	瀝青質殘留物 %	貯藏安定度 1週 %	貯藏安定度 3週 %	分解速度 分	低温安定度	被膜狀態	備考	總評
No. 1	1.010	2.4	52.3	2.7	沈澱 7.6 (8 mm)	45	稍良	良	黑褐色．略均等．稍粗粒あり．3日にして上層3mm稀薄となり，3週にしてやゝ沈澱を生ず．	稍良
No. 2	1.009	2.3	50.5	2.1	沈澱少 9.6 (8.5mm)	45	良	良	粗粒なく，其の他 No. 1 に同じ．	稍良
No. 3	1.008	2.4	…	3.0	沈澱少 4.4 (3.0mm)	50	良	良	No. 1 に類す．	稍良
No. 4	1.007	…	43.3	25.1	沈澱多量	45	不良	良	黑褐色，稍粗粒あり，1夜放置して變化なし．3日，7日にして夫々上層 10，35 mm 稀薄となる．	不良
No. 5	1.007	2.8	52.4	0.1	沈澱少 1.2 (1.2mm)	45	良	良	No. 2 に類するも，3日にして分離水層なく，良好である．	良
No. 6	1.007	3.2	53.4	0.3	3.3 (2.0)	45	良	良	黑褐色，極めて均等，粗粒なく，上下とも分離物なく安定良好である．	良
No. 7	1.008	2.3	52.2	0.2	1.8 (1.5)	<50	良	良	同上	良
No. 8	1.007	2.4	51.9	0.4	1.4 (1.5)	<50	稍不良	良	同上	良
No. 9	1.007	2.7	52.0	0.4	0.6 (1.5)	45	良	良	同上	良
No. 10	…	…	…	…	…	…	…	…	1夜靜置後，全部凝固し流動性を失ふ．乳化溶液過濃なるに依る	不良
No. 11	1.011	3.7	56.4	−0.03	−1.9 (0.0)	時 3.5〜4	良	良	黑褐色，均等，乳化良好極めて安定．	良
No 12	1.013	3.9	56.4	−0.07	−1.8 (0.0)	3.5〜4	良	良	同上	良

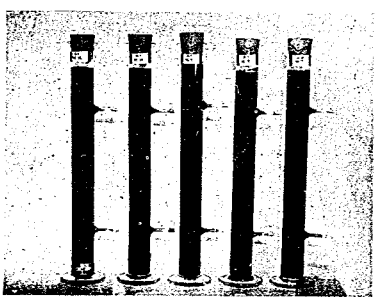
但し乳化の條件は

1. 乳化溶液使用量 900 cc，溫度 85〜95°C
2. アスファルト（針度 25°c 142，比重 25°c 1.009，瀝青全量 cs_2 99.92%），使用量 900g，溫度 110〜130°C　但し No. 10〜No. 12 の溶液の場合は使用量 990g
3. ホモヂナイザー回轉數　約 9000 rev/min.（空運轉の場合）

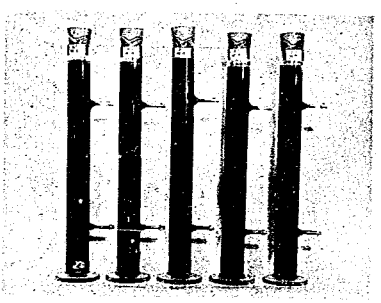
第7表に於て，石鹼 S.S を乳化劑とせる乳劑（No. 1〜No. 5）は乳化溶液中石鹼分少く其の中最も石鹼分少き No. 4 は安定度著しく不良，之に次ぎアルカリ性度少き No. 1 は

1. No. 1～No. 6 (透入用) 貯蔵安定度 (1 週後) A—I

2 No. 1～No. 6 (透入用)貯蔵安定度 (3 週後) A—I



3. No. 7～No. 12 (No. 7～No. 9 透入用, No. 9～No. 12 混合用) 貯蔵安定度 (1 週後) A—I



4 No. 7～No. 12 貯蔵安定度 (3 週後) A—I

寫眞第 1 試製アスファルト乳剤 (A—I)

乳化やゝ不完全，安定劑を缺く No. 3 も乳化不充分である．石鹸 S.S, 0.37 或は 0.49 %卽ち無水物として 0.3～0.4 % を含み (石鹸概量として大約 0.1～0.12 % を含む), アルカリ及安定劑を含む No. 2 及 No. 5 は比較的良好である．この中 No. 5 最も良し．

石鹸 S.S 1.5 % を含む乳劑 No. 10 は，常溫にて全部凝固するを以て本石鹸は 1.5 % 以上使用できない．卽ち石鹸概量として 0.4 % 以上の乳化溶液を調製するには不適である．かゝる場合には他の石鹸を選ぶ必要がある．

其の他の石鹸を用ゐた No. 6, No. 7, No. 8, No. 9 は石鹸分として 0.4 % の多量を含み，乳劑は極めて安定である．

No. 11, No. 12 は參考の爲掲げたるもので，安定にしてアスファルト量多く，混合法用に供し得る．

上記の結果より，石鹸 S.S を用ゐる現場乳劑を製造するには，乳化溶液として次の配合によるをよしとす．

石　鹸 S.S	0.35～0.5 % (無水物として 0.3～0.4 %)
苛性ソーダ	0.2 ～0.25 %
安　定　劑	適當品，適當量　例へば　珪酸ソーダ 0.5 % 及ゼラチン 0.2 % 或はベントナイト 0.4 % など

V. 第3次 乳劑 (O-現場) の性質及製法に就て

上記諸實驗の結果及之に關する諸注意事項は K-現場の監督官廳宛に昭和 11 年 2 月之を報告し置きたる處，越えて昭和 11 年 11 月に至り，同じ監督下にある O-現場より改良せる製法によりて製造せる乳劑及び之に使用したる藥品其の調合記載書等を送附ありたるを以て，更に之等試料に對する試驗を行つた．其の試驗の成績は次に記載する如く，遙かに優秀なるものとなつた事を示して居る．

[1] O-現場製造アスファルト乳劑の一般性質 (第 3 次試驗)

O-現場にて製造せるアスファルト乳劑は前後 2 回に亘りて送附せられたが，其の一般性質は第 9 表の如くである．

但し，試料 No. 2857 に使用せられたアスファルトは第 8 表の如き性質のものである．

第 8 表　乳劑 (No. 2857) の原料アスファルト性質

比　重	25°/25°C	1.011	延　性	15°C	>100
針　度	0°C, 200g, 60sec	20	軟化點	R & B	38°C
	25°C, 100g, 5sec	113	蒸發減	163°C, 50g, 5h	0.004%
	46°C, 50g, 5sec	>300	瀝青全量	CS_2	99.82%

第 9 表　O- 現場製造アスファルト乳剤

試驗番號	No. 2770	No. 2857	試驗番號	No. 2770	No. 2857
1. 外觀	黑褐色均等	黑褐色均等	上下濃度差,3日 %	…	1.1
2. 比重 25°/25°C	1.012	1.012	7日 %	0.9	3.2
3. 比粘度エングラー			21日 %	…	28.3
25°C	4.1	3.1	7. 低温安定度 −5°C	良	…
4°C	6.6	6.4	8. 分解速度　分	30	40
4°/25°C の比	1.6	2.0	9. 被膜の狀態	良	良
4. 瀝青質殘留物 %	57.5	55.3	10. 混水安定度	…	良
5. 同上 性質			11. 混合法用としての分解試驗（砂入骨材試驗）	…	混合容易，24時間後は洗滌するも再乳化せず被膜の膠着良好
針度 25°C	100	92			
延性 15°C cm	>100	>100			
5°C cm	54	…			
6. 貯藏安定度			12. 洗滌試驗 30分 %	…	54.6
分離水層 5日 cm	…	0.1	13. 破壞試驗		
〃 7日 〃	…	0.2	$CaCl_2$ 0.02N. 35cc %	…	54.5
〃 21日 〃	…	3.2	$CaCl_2$ 0.1N. 50cc %	…	98.9

第9表の成績に依れば，いづれも現場乳剤としては，性質良好にして，路面處理，シール・コート或は透入マカダム法に充分使用し得るものである．

［2］ 上記乳剤に使用せる乳化剤其の他の藥品及乳化溶液

主乳化剤は粉石鹸が用ゐられ，其の性質は第 10 表の如くである．

乳化溶液の調製には，粉石鹸のほかに，珪酸曹達及苛性ソーダ，水等が使用せられ，其の調合は第 11 表中に示す如くである．

第 10 表　乳化剤用石鹸

	A	B
1. 水分 %	28.07	28.80
2. 石鹸檢量 % (アルコール可溶分)	32.02	31.41
3. アルコール不溶分	39.91	39.79
4. 水可溶分	71.96	71.19

備考　アルコール不溶分は全部水に溶ける

第 11 表　アスファルト乳剤原料調合

原料及び藥品	アスファルト	乳化溶液			
		粉石鹸 (No. 2859)	珪酸ソーダ (No. 2861)	苛性ソーダ (No. 2862)	水
O-現場標準 (A)	% 50	% 0.36	% 0.30	% 0.12	% 49.22
No. 2857 の乳剤 (B)	50	0.30	0.20	0.10	49.40

上記乳化溶液の性質は第 12 表の如し.

第 12 表　乳化溶液の性質

溶　液	比　重 25°/25°C	粘度(オストワルド粘度計) 25°C		表 面 張 力 25°C	
		水に對する比 粘 度	Poise	比表面張力	γ dym/cm
A	1.010	1.035	9.26×10^{-3}	0.429	30.9
B	1.009	1.026	9.18×10^{-3}	0.406	29.2

卽 (B) 程度の乳化溶液により No. 2857 の如きアスファルト乳剤を製し得べきことが知られる.

VI. 現場製造撒布透入用乳剤についての注意事項

上記實驗結果より, 現場製造乳剤に關して, 注意すべき事項を列記すれば次の如し.

[1] 現場乳剤製造上の注意

a) 原　料

1. アスファルト　　良質のものを選ぶこと.

2. 乳化溶液　　適當品質の乳化劑, 安定劑の適量を使用すること ([3] 參照)

b) 工　程

1. 乳化溶液調製　　乳化溶液は, 相當多量を 1 時につくり, 加熱攪拌して溶解の完全を期し, 有害物は除去し, 清淨なる液狀の部分のみを使用すること.

2. 加熱溫度　　アスファルト, 乳化溶液の溫度は, 泡起現象を起さゞる範圍にて高からしむべく, 且つ常になるべく一定に保つこと.

3. 乳化操作　　熔融アスファルト及乳化溶液の注入割合は, 出來上り乳劑中の瀝青質殘留物 50 % 以上を目標とし, なるべく一定に保つこと.

4. 出來上り乳劑の一時貯藏　　貯藏タンク中の乳劑は, 之を攪拌或は循環流動せしめて, 均等性を保つこと.

[2] 出來上り乳劑の使用

製造開始直後の乳劑は品質に不完全なる所あるを以て注意すること. 乳劑製造後は速かに使用すること.

[3] 乳 化 溶 液

乳化溶液の調製は特に重要なる事柄なるを以て次に其の注意事項を列記する.

1. 溶液の比重はアスファルトの比重に近からしむべし. K-現場の如き場合, 珪酸ソーダの過量は却つて害がある.

2. 溶液には適當のアルカリ性度を保つべし. 之には少量の苛性ソーダ (0.2～

0.3%) を用ゐることは有效である.

3. 石鹸は石鹸分多きものを使用する方得策である. ことに有害不溶解物を多く含むものは特別なる理由ある場合以外避くべし.

石鹸及び安定劑の品質, 分量も適當のものたるべし.

4. K-現場の場合は, 石鹸 (B) を用ゐるものとすれば

石 鹸 (B)	0.35～0.5 %
安 定 劑	適品, 適量
苛性ソーダ	0.2～0.3 %

の溶液は適當す.

O-現場の處法は卽時使用の乳劑ならば使用し得.

[4] 現場乳劑に關する試驗

a) 原料アスファルト　原料アスファルトは適當なる試驗所に送附して一般試驗を行ふ.

b) 乳化劑, 安定劑, 其の他藥品及乳化溶液

1. 乳化劑, 安定劑等については, 適當な試驗所に依賴して, 豫め品質試驗を行ひ置き, 良品を選定する.

2. 乳化溶液は, 之等藥品を用ゐ, 乳化力充分にして適當比重を有する樣調製する.

3. 乳化溶液の比重は, 比重計を以て, 時々現場試驗を行ふべし.

4. 乳化溶液の乳化能力は, 現場に於ては, 乳劑を試製し, 其の良否により判斷すべし.

c) 出來上り乳劑

1. 製法確定後, 乳劑を試製し, 其の平均試料 (10 liter) を採取し, 適當なる試驗所に送りて, 現場製造乳劑としての一般性質を試驗し置くべし. 性質不良ならば製法を改良する.

2. 一般試驗に合格したる場合は, 製法上, 根本的缺陷はなきものと認めらるゝも現場製造乳劑に於ては, 其の品質が, 時によりて變化し易きを以て, 現場に於て, 次の簡單なる試驗を行ひ, 其の性質の均一性を保たしむる目安とする.

i) 瀝靑質殘留物量
ii) 比　重
iii) 安定度定性試驗
} 試驗法後述

d) 溫　度　熔融アスファルト, 乳化溶液, 貯藏タンク中乳劑, タンク・カー中乳劑 (撒布時) の溫度は時々測定し, 乳劑製造及使用上の參考に供する.

[5] 現場試驗設備及方法

現場試驗設備及方法は，出來得る限り簡單迅速なるものをよしとする．下記はこの意味に於て，最小限度の設備及方法を示したものである．下記以外の試驗を行ふ便宜ある場合は，必要に應じ他の試驗をも行ふも妨けない．

a) 試驗設備

1. 溫度計　150°C 溫度計若干本（熔融アスファルト，乳化溶液，乳剤の溫度測定用）

2. 比重計　1.000～1.020 の範圍を測定しうるもの若干本．（以上はアスファルト乳剤）　乳化溶液，乳剤の比重測定用．（タール乳剤の場合は比重なほ高きものを要する

3. 比重計用ガラス圓筒　若干本．比重計の大きさに應じ適當大のものを用ゐる．

4. 250 cc ガラス圓筒　若干本．安定度定性試驗用．

5. 蒸發皿（磁製）　徑 10～12 cm，120 g 以下のもの若干．

6. ガラス棒　長 15～20 cm，徑 0.5 cm 位のもの若干本．

7. 鐵製架臺及アスベスト附金網　若干．蒸發皿を載せうるもの．

8. 適當加熱裝置　ガスある場所ならば）ブンゼン・バー若干，ガスなき場合は之に代るもの．

9. 上皿天秤　感量 0.2 g，200 g 迄秤量しうるもの（5～9は瀝青質殘留物定量用）．

b) 試驗法

1. 比重……乳化溶液，乳剤．　清淨にして乾燥せる比重計用圓筒に試料を取り，暫時放置して常溫となし，試料中に比重計を徐々に浮かし，其の靜止せる時，液面の目盛をよむ．測定時の乳剤の溫度をも測定し比重と共に記錄しおくべし．

2. 安定度定性試驗……乳剤．　250 cc ガラス製圓筒に乳剤 250 cc 採取し之を 3 日間靜置し，其の器底或は上層に稀薄層を生ずるや否や及び其の程度を檢し，且つ微粒子の凝集する傾向の有無をも見る．稀薄層の厚み大なる程，及凝集傾向多き程乳剤は不安定なりとする．

3. 瀝青質殘留物量……乳剤．　蒸發皿を清掃乾燥後，上皿天秤にて重量 W_1 を秤り之に乳剤約 50 g を採り更に其の重量（W_4）を秤り，之を鐵製架臺の金網上に載せ，ガラス棒（豫め重量 W_2 秤量しおく）にて攪拌しつゝ水分の全くなくなるまで加熱し，冷却後蒸發皿，ガラス棒の合量（W_3）を秤量し，次式により瀝青質殘留物の量を求める．

$$瀝青質殘留物\% = \frac{W_3 - (W_1 + W_2)}{W_4 - W_1} \times 100$$

上式中　W_1＝乾燥蒸發皿の重量 g,　　W_2＝ガラス棒の重量 g,　　W_3＝水分除去後，瀝青質殘留物，蒸發皿，ガラス棒の合量 g,　　W_4＝蒸發皿及採取乳劑の合量 g

VII. 現場製造各種乳劑の研究

前章までに研究せる所は，主として特定の現場に於ける撒布用乳劑を目標とせるものであるが，現場製造乳劑としては，混合法用のものを必要とすることあり，又維持修繕用として稍〻貯藏に耐へ或は比較的濃厚なる乳劑を必要とすることもあるを以て，本章に於ては，之等の乳劑を對照として，更に研究した．

［1］ 試料とせるアスファルト及乳化劑，安定劑，其の他藥品

1)　アスファルト　　試料アスファルトは前の試製實驗 (A—I) に用ひたと同樣のものである．卽ち，眞空蒸溜アスファルトにして，比重 (25/25°C) 1.009，針度 (25°C) 142，延性 (15°C) ＞100，蒸發減 (163°C) 0.07 %，瀝青全量 (CS_2) 99.92 % である．

2)　乳化劑，安定劑，其の他藥品　　本研究に使用せる乳化劑，安定劑，其の他の藥品は，第 13 表に揭ぐるが如きものを使用した．

第 13 表　乳化劑，安定劑，其の他藥品の種類及性質 (A. B. C)

(A)　石鹼類

番號	石鹼種別	乳化用石鹼の分析						
		水分 %	*石鹼樹量 %	分取せる脂肪酸の特數			アルカリ及び無機物質 %	0.25% 溶液の反應（フェノール・フタレーン）
				酸價	鹼化價	沃素價		
1.	S.S	17.7	24.6	—	—	—	51.4	微赤
2.	F.Na	28.6	71.4	189.2	198.4	110.5	13.3	無色
3.	R.Na(1)	28.5	71.5	163.2	166.4	131.4	11.8	微赤

* 石鹼樹量は次の式より之を算出した

$$石鹼樹量\% = 100 - 水分(\%) - \frac{アルコール不溶殘留物量}{試料の量} \times 100$$

(B)　ロート油

ロート油種別	水分 %	酸價	鹼化價	總脂肪酸 %	總硫酸 %	總アルカリ %	硫酸化度（計算値）
M.Se(S)	21.0	67.8	97.8	83.8	8.96	7.78	36.1

(C)　安定劑の硅酸曹達は水分 44.35 % を含む粘稠な液狀のものであり，アルカリは純度 98.8 % の苛性曹達である．

[2] 乳化溶液の調合

乳化溶液調製は第 14 表, 15 表, 16 表に表示した通りである.

第 14 表　試製實驗 A-II の乳化溶液の調合

乳化剤 ＼ 乳化溶液の成分配合	石鹸 S.S			硅酸曹達		苛性曹達	乳化剤の總量	
	石鹸 % 其まゝ含水物として	石鹸 % 無水物として	石鹸樹量 %	含水物 %	無水物 %	%	含水物として %	無水物として %
A II No. 1	0.49	0.40	0.12	0.90	0.50	0	1.39	0.90
A II No. 2	0.49	0.40	0.12	0.70	0.39	0.20	1.39	0.99
A II No. 3	0.49	0.40	0.12	0.60	0.33	0.20	1.29	0.93
A II No. 4	0.73	0.60	0.18	0.50	0.28	0.20	1.43	1.08
A II No. 5	0.97	0.80	0.24	0.30	0.17	0.20	1.47	1.17
A II No. 6	1.21	1.00	0.29	0.20	0.11	0.20	1.61	1.31
A II No. 7	1.36	1.20	0.36	0	0	0.20	1.66	1.40
A II No. 8	1.85	1.50	0.46	0	0	0.20	2.05	1.70

備考
1. 表中の % は總て乳化溶液に對する乳化剤の百分率を表したものである.
2. 石鹸樹量は水分及び 98% アルコール不溶成分を定量しその和を全量より減じたものにして石鹸の純度を概示したものである.
3. 硅酸曹達は水分定量の結果, 水分 44.35% のものである.
4. 苛性曹達はアルカリ純度 98.8% のものである.
5. 乳化剤總量の含水物%及び無水物%は, 夫々苛性曹達以外の藥品の含水及び無水物と苛性曹達との總和を以て表したものである.
6. 以下の乳化實驗 A-III～A-IV は總て上述の藥品を使用した.

第 15 表　試製實驗 A-III の乳化溶液の調合

乳化剤 ＼ 乳化溶液の成分の配合	石鹸 S.S			石鹸 R.Na			石鹸 F.Na			硅酸曹達		苛性曹達	乳化剤總量	
	石鹸% 含水物	石鹸% 無水物	石鹸樹量 %	石鹸% 含水物	石鹸% 無水物	石鹸樹量 %	石鹸% 含水物	石鹸% 無水物	石鹸樹量 %	% 含水物	% 無水物	%	% 含水物	% 無水物
A III No. 1	0.60	0.50	0.25	—	—	—	—	—	—	0.50	0.28	0.25	1.35	1.03
A III No. 2	—	—	—	0.42	0.30	0.30	—	—	—	0.50	0.28	0.25	1.17	0.83
A III No. 3	—	—	—	—	—	—	0.42	0.30	0.30	0.50	0.28	0.25	1.17	0.83
A III No. 4	0.37	0.30	0.09	0.42	0.30	0.30	—	—	—	0.50	0.28	0.25	1.54	1.13
A III No. 5	0.37	0.30	0.09	—	—	—	0.42	0.30	0.30	0.50	0.28	0.25	1.54	1.13
A III No. 6	—	—	—	0.42	0.30	0 30	0.42	0.30	0.30	0.50	0.28	0.25	1.59	1.13

備考
1. 石鹸 S.S は普通にアスファルト乳化に使用される市販の粉末石鹸である.(曹達石鹸)
2. 石鹸 R. Na は樹脂(松脂)を主成分とする樹脂石鹸である.(曹達石鹸)
3. 石鹸 F. Na は特殊の魚油を原料とする曹達石鹸である.
4. 乳化剤總量の含水物 % 及び無水物 % は夫々苛性曹達以外の含水及び無水物と苛性曹達との總量を以て表したものである.
5. 表中の % はすべて乳化溶液に對する乳化剤の百分率を表したものである.

第 16 表 試製實驗 A-IV の乳化溶液の調合

乳化剤＼乳剤	乳化溶液の成分の配合															
	石鹸 F. Na			石鹸 R. Na			石鹸 M. Se			硅酸曹達		ゼラチン	苛性曹達	乳化剤總量	
	石鹸% 含水物	石鹸% 無水物	石鹸槪量 %	石鹸% 含水物	石鹸% 無水物	石鹸槪量 %	石鹸% 含水物	石鹸% 無水物	石鹸槪量 %	% 含水物	% 無水物	%	%	% 含水物	% 無水物
A IV No. 1	0.70	0.50	0.50	—	—	—	—	—	—	0.30	0.17	0.25	0.25	1.49	1.17
A IV No. 2	—	—	—	0.69	0.50	0.50	—	—	—	0.30	0.17	0.25	0.25	1.49	1.17
A IV No. 3	—	—	—	—	—	—	0.63	0.50	0.50	0.30	0.17	0.25	0.25	1.43	1.17
A IV No. 4	0.35	0.25	0.25	0.35	0.25	0.25	—	—	—	0.30	0.17	0.25	0.25	1.50	1.17
A IV No. 5	0.35	0.25	0.25	—	—	—	0.32	0.25	0.25	0.30	0.17	0.25	0.25	1.47	1.17
A IV No. 6	—	—	—	0.35	0.25	0.25	0.32	0.25	0.25	0.30	0.17	0.25	0.25	1.47	1.17

備考 1. 表中の % はすべて乳化溶液に對する乳化剤の百分率を表したものである.
2. 乳化剤總量の含水物 % は石鹸及び硅酸曹達の含水物に添加したゼラチン及び苛性曹達の總量であり, 無水物 % は其の無水物とゼラチン及び苛性曹達の總量である.

其の種類に就ては, 乳化劑としては S.S. 石鹸, F. Na 石鹸, R. Na 石鹸及び M. Se ロート油の 4 種, 安定劑としては硅酸曹達, ゼラチンの 2 種を用ひ, 更に苛性曹達の小量を添加して乳化溶液を調製した. 此等の石鹸は普通の工業用石鹸にして, S.S. 石鹸は O-工事現場にて現場用アスファルト乳劑の乳化劑として實際に使用せられた粉末石鹸である. F. Na 石鹸は, 特殊の魚油を原料とせるもの, R. Na 石鹸は, 樹脂を主成分とせるもので半固狀の軟質石鹸であり, M.Se ロート油は蓖麻子油を主成分とする硫酸化油にして液狀を呈し水に可溶である. 硅酸曹達, ゼラチン及び苛性曹達は化學試驗用の藥品を用ひた. 第 14 表の乳化溶液は試製實驗 A—II に於てアスファルトの乳化に使用したもので, 石鹸は S. S. 粉石鹸 1 種のみ使用した. 卽ち, S. S. 石鹸 (無水物として) 0.4～1.5 %; 硅酸曹達 (無水物として) 0.0～0.5 %; 苛性曹達 (純度 98.8 %) 0.0～0.2 % を配合したもので乳化劑の總量は乳化溶液に對して 1.0～1.7 % である.

此の試製實驗 A-II は實際に O-工事現場にてアスファルトの乳化に使用した S.S. 石鹸を主體とし之に硅酸曹達及び苛性曹達の小量を添加して長期間 (½～1 年程度) 安定にして良質なる撒布透入法用アスファルト乳劑を造り得るや否や, 又その乳化溶液の調合が乳劑の性質の良否に及ぼす影響を確めんとして行つたものである.

第 15 表は試製實驗 A-III に於てアスファルトの乳化に使用したもので，石鹸は 3 種類使用した．即ち，S.S. 石鹸 0.3～0.5 %，R. Na 石鹸及び F. Na 石鹸各 0.3 % であり，之に硅酸曹達 0.28 %，(石鹸及び硅酸ソーダは無水物としての%) 苛性曹達 0.25 % を夫々添加したもので，その總量は 0.80～1.20 % である．試製實驗 A-III は上述の粉石鹸の一部に特殊の魚油或は樹脂を主成分とする石鹸を添加したもので，之により極めて安定且つ良質の乳劑混合マカダム法用乳劑を造り得るか否か，又各乳化溶液の調合と乳劑の良否との關係を實驗的に考察する目的で行つたものである．

第 16 表は試製實驗 A-IV に於ける乳化溶液に使用したもので，上述の粉石鹸を使用せず，特殊の石鹸及びロート油を主乳化劑として使用した．即ち石鹸及び硅酸曹達は各無水物として石鹸各 0.25～0.5 %，硅酸曹達 0.17 %，及びゼラチン 0.25 %，苛性曹達 0.25 % よりなるものでその總量 1.2 % である．

試製實驗 A-IV は，上述の S. S. 粉石鹸を全く使用せず，之に代ふるに魚油及び樹脂を主成分とせる石鹸及びロート油を配合して主乳化劑とし又安定劑に小量のゼラチンを添加したもので，その目的は極めて安定にして且つアスファルト含有量が多く良質の混合法用アスファルト乳劑の製造の可否及び此種の濃厚乳劑の粘度及び低溫竝に貯藏に對する安定度等の性質を試驗する爲めに行つたものである．

乳化溶液 A-II，A-III，A-IV の各種のものに就て乳化劑及び安定劑の總量，即ち使用した藥品の總量は前述の乳化溶液 A-I の場合に比して少しく多量である．之は前述の試製實驗 A-I と異り，試製すべき乳劑が單に製造後直ちに或は數日後に使用するを目標とせず，特に貯藏及び低溫に對する安定度極めて良く，從つて製造後長期間後の使用に堪へ且つアスファルト含有量も充分であり，又使用に際しても透入用或は混合法用に適當する等の事項を考慮した結果である．然れども，乳化溶液 A-II (No. 8 を除く)，A-III，A-IV を通じ使用した藥品の總量は乳化溶液に就て 2.0 % 以下，即ち乳劑に對して凡そ 1.0 %以下である．

[3] 乳化溶液の性質

前述の試製實驗 A-I の場合と (10頁參照) 同樣に乳化溶液 A-II～A-IV の各溶液に就てその比重 (25°/25°C)，粘度 (25°C) 及び表面張力 (25°C) を夫々測定した．その結果は第 17 表，18表，19 表である．

1. 比重 (25/25°C)　乳劑の製造後分離の傾向及び貯藏安定度の上より考へ乳化溶液の比重は原料アスファルトの比重 (比重 25/25°C 1.009) に略々一致させる事を要すべきに依り，本實驗に於ても總て乳化溶液の比重は出來る限り 1.009 に近似させる樣乳化劑及び安定劑の分量及び配合を考慮した．此の結果，第17～19表より明かなる如く A-II の

第 17 表 乳化溶液 A-II の性質

乳化剤 ＼ 乳化溶液の性質	比重(25°C)	粘度 (25°C)			表面張力 (25°C)		
	d 25/25°C	オスト・ワルド秒 (t)*	比粘度 (η_R)	絶對粘度 ($\eta\times10^3$)	滴數計の滴數 (n)*	比表面張力 (γ_R)	絶對表面張力 (γdyne/cm)
A-II No. 1	1.008	93.8	1.027	9.19	62.4	0.422	30.34
A-II No. 2	1.008	95.0	1.041	9.32	62.1	0.424	30.48
A-II No. 3	1.008	95.7	1.048	9.32	62.8	0.419	30.14
A-II No. 4	1.008	96.8	1.060	9.49	60.8	0.433	31.13
A-II No. 5	1.009	97.1	1.064	9.52	61.7	0.426	30.68
A-II No. 6	1.010	98.2	1.076	9.63	61.4	0.428	30.82
A-II No. 7	1.010	101.3	1.110	9.93	62.0	0.424	30.53
A-II No. 8	1.013	109.4	1.198	10.72	62.9	0.418	30.09

備考 1. 粘度はオストワルド粘度計を使用して測定し，蒸溜水の 25°C に於ける秒數 (t_w) は，t_w=91.3 なり．
2. 蒸溜水の 25°C に於ける絶對粘度 (η_w) は，$\eta_w=8.95\times10^{-3}$ として各溶液の η を算出した．
3. 表面張力はトラウベ氏滴數計を使用して測定し，蒸溜水の 25°C に於ける滴數 (n_w) は，n_w=26.3 なり．
4. 蒸溜水の 25°C に於ける絶對表面張力 (γ_w) は γ_w=71.97 dyn/cm として各溶液の γ を算出した．
5. * は測定 3 回以上の平均値である．
6. 以下乳化溶液の性質に就ては之に準ずる．

第 18 表 乳化溶液 A-III の性質

乳化剤 ＼ 乳化溶液の性質	比重(25°C)	粘度 (25°C)			表面張力 (25°C)		
	d 25/25°C	オスト・ワルド秒 (t)*	比粘度 (η_R)	絶對粘度 ($\eta\times10^3$)	滴數計の滴數 * (n)	比表面張力 (γ_R)	絶對表面張力 (γdyne/cm)
A-III No. 1	1.008	94.2	1.039	9.23	61.7	0.426	30.68
A-III No. 2	1.007	92.6	1.014	9.08	54.7	0.481	34.60
A-III No. 3	1.007	94.2	1.032	9.24	57.4	0.458	32.98
A-III No. 4	1.009	94.8	1.038	9.24	58.9	0.447	32.13
A-III No. 5	1.009	96.9	1.061	9.49	58.6	0.449	32.30
A-III No. 6	1.009	95.0	1.041	9.32	56.4	0.466	33.56

備考 1. 1～6 項は第 17 表の場合と同様なり．

第 19 表　乳化溶液 A-IV の性質

乳化劑 ＼ 乳化溶液の性質	比重(25°C)	粘度 (25°C)			表面張力 (25°C)		
	d 25/25°C	オスト・ワルド秒(t)*	比粘度 (η_R)	絶對粘度 ($\eta\times10^3$)	滴數計の滴數 * (n)	比表面張力 (γ_R)	絶對表面張力 (γ dyne/cm)
A-IV No. 1	1.008	98.8	1.082	9.68	57.5	0.457	32.92
A-IV No. 2	1.008	109.7	1.202	10.76	55.4	0.475	34.16
A-IV No. 3	1.008	97.5	1.068	9.56	48.6	0.541	38.95
A-IV No. 4	1.008	95.3	1.045	9.35	56.7	0.463	33.45
A-IV No. 5	1.008	95.2	1.042	9.35	53.8	0.489	35.18
A-IV No. 6	1.008	118.8	1.301	11.64	53.5	0.492	35.38

備考　1. 1～6 項は第 17 表の場合と同樣なり.

No. 8 を除きすべてその比重は 1.007～1.010 の範圍である.

2. 粘度 (25°C)　　試製實驗 A-I の場合と同樣にオスト・ワルド粘度計を用ひ粘度を測定した. 之を比粘度 (η_R) 及び絶對粘度 (η—poise) にて表せば各乳化溶液を通じて $\eta_R=1.010\sim1.300$, $\eta=9.08\times10^{-3}\sim11.64\times10^{-3}$ の範圍にして同溫度の水の粘度の 1.5 倍以下にして, 粘度は水と略ゝ類似せるか或は僅に大なるに過ぎぬ程度である.

3. 表面張力 (25°C)　　トラウベ氏滴數計を用ひ滴數を測定し, 之より溶液の比表面張力 (γ_R) 及び絶對表面張力概略値 (γ) を算出した. その結果, $\gamma_R=0.418\sim0.541$, $\gamma=30.1\sim39.0$ dyne/cm である. 卽ち, 其の表面張力は略ゝ 30～40 dyne/cm にして, 水の同溫度に於ける表面張力を72 dyne/cm とすれば乳化溶液の表面張力は水に對し 4～6割程度である.

4. 界面張力　　燈油に對する界面張力はヒリヤー氏・ピペットを使用して測定せんとしたが盡く流出し, その滴數を算へ得ず, いづれも界面張力は小なるものであつた.

5. アルカリ性度　　乳化溶液のアルカリ性度は從來溶液中の苛性曹達の量以外に, 水素イオン濃度を測定して之を比較したが, 前述の試製實驗 A-I の結果より此の種の石鹼濃度に於ては之に 0.2～0.4 % 程度の苛性曹達を添加する事により, 凡そ $PH=11.5\sim12.5$ であるを知つたので此の測定は省略した.

本試製實驗に於ては, 總て乳化溶液 A-II (No. 1 を除く)～A-VI に苛性曹達 0.2～0.25

%を添加せるを以て，第3表及び6表より少くとも P_H 12 前後のものであると推測し得られる．

［4］ 乳化操作及び乳化狀態

1) 乳化操作　乳化操作はすべて試製實驗 A-I の場合と同樣にして實驗室用小型ハーレル乳化機を使用し，操作中に於ける乳化機の回轉速度は 9.000～8.500 回轉/分である．アスファルトの加熱溫度は 125～110°C，乳化溶液の溫度は 85～80°C にして，共に溫度調節槽にて上述の溫度に良く調節し，過熱に依るアスファルトの變質，乳化溶液の水分の逸散及び兩液を乳化機に注入する場合の水分の沸騰竝に氣泡の發生等の如き乳化を阻害すべき條件を出來る限り避けた．

斯くして乳化した試製乳劑は直に硬質硝子圓筒（容量 2 l）に採り，充分に攪拌して均等にし同時にその乳劑の色，質の均等性を觀察し乳化の良否を檢した．次に之に蓋をなし一晝夜靜置して此の間の分離の傾向を見，更に上部に分離せる少許の泡及び浮遊物質等を除き，100 番篩を通じて，小許の浮遊アスファルト粒を篩分し，各を小型試料壜（容量 ½ l）に入れ密封して之を後述の試驗の試料とした．斯の如き試料は試製實驗 A-II，に於て No. 1～No. 8 の 8 個，A-III，A-IV に於て夫々 No. 1～No. 6 の 6 個，計 20 個にして，その量は各々約 2～4 lit. である．

2) 乳化の狀態概觀　試製アスファルト乳劑 A-II～A-IV の乳化直後の乳化狀態及び一晝夜靜置後の狀態を略記すれば次の如くである．

1. 試製乳劑 A-II　No. 1 は乳化直後は黑褐色，質均等にして乳化良好であつたが 1 晝夜靜置後は內容物に少許のアスファルト質の粒塊を生じ，乳劑は少しく上下 2 層に分離した．此の乳劑は長期間貯藏後には相當に分離すべきものと推測し得るものである．No. 2～No. 7 は褐色味强き黑褐色を呈し乳化良好にして一晝夜靜置後も少しも變化なく分解の傾向もなく，質極めて均等である．但し，No. 7 は少しく粘稠であつた．No. 8 は乳化直後，乳劑が溫い時は全く No. 7 と同樣で質が均等であつたが一晝夜靜置後，乳劑が冷却せる時は甚だ粘稠になり分散せるアスファルト粒子は一部分凝結し不均等になり，終に殆んど分解した．從つて，試料 A-II No. 8 は之を廢棄した．

2. 試製乳劑 A-III 及び A-IV　いづれもは褐色味の强い黑褐色を呈し，乳化極めて良く乳化後 1～3 週週間後も少しも變化なく分離の傾向も認めず，質極めて均等にして恐らく長期間（3ヶ月或は ½ 年以上）も安定なものと推測されるものである．

［5］ 試製アスファルト乳劑の一般性質

各乳劑に就ては乳化後約 1 週間を靜置したる後，各試料に就て當所規定の標準方法により鋪製用乳劑としての一般性質を試驗し，特に長期間の安定度の試驗を行つた．之には

乳劑を當所規定の貯藏安定度試驗用目盛圓筒（高約 35 糎，徑 3.2 糎）に採り，之を實驗室中に凡そ半ケ年以上靜置し 1，2，3，6，9 週目の一定の時期に乳劑の分離の傾向を測り，又同時に上下兩部分のアスファルト含有量を定量し，その差より貯藏安定度を算出した．又別に密封して貯藏せる試料に就ては時々之を攪拌してその內容物の均等性，アスファルト質の沈積及び凝結竝に乳劑の分解の程度を觀察し之を定性的に比較した．

此の結果は第 20 表，21 表，22 表に表示したものである．表中貯藏安定度試驗項目

第 20 表　試製アスファルト乳劑 A-II の一般性質

乳劑＼試驗項目	比重 25/25°C	比粘度 エングラー度 25°C	比粘度 エングラー度 4°C	アスファルト含有量 %*	アスファルト殘留物 針度 25°C	アスファルト殘留物 延性 15°C	分解速度 硬質石灰岩 (φ6~12mm)	低溫安定度 −5°C., 3 時間	貯藏安定度**	0~⅓週 1~2日	1週 7日	3週 21日	6週 約1½月	9週 約2月	27週 約6月
A-II No. 1	1.008	1.6	3.2	47.6	114	>100	約50分膠著良，被膜の剝落なし，再乳化せず	不安定	分離水層(cm)	分離傾向著し	7.8	8.2	9.5	—	—
									安定度(%)		58.5%	63.2%	68.9%	—	—
									安定度等級	A	A	B	C	C~D	D
A-II No. 2	1.009	2.3	3.7	50.5	123	>100	同	稍不安定	分離水層(cm)	分離傾向なし	2.5	3.3	4.5	4.5	—
									安定度(%)		14.0%	36.3%	46.3%	46.5%	—
									安定度等級	A	A	B	B	C~B	C~B
A-II No. 3	1.009	2.3	3.9	50.4	120	>100	同	安定	分離水層(cm)	同	0.5	1.5	3.5	3.8	3.8
									安定度(%)		5.0%	12.9%	36.8%	37.0%	38.0%
									安定度等級	A	A	A	B	B	B
A-II No. 4	1.010	2.5	3.9	51.9	129	>100	同	安定	分離水層(cm)	同	0.2	0.8	1.0	2.0	3.0
									安定度(%)		1.9%	3.5%	4.7%	12.5%	22.5%
									安定度等級	A	A	A	A	A	B~A
A-II No. 5	1.010	2.8	4.2	53.5	126	>100	約50~55分被膜良好，分解完結後は再乳化せず．	安定	分離水層(cm)	同	0.1	0.3	0.7	1.0	3.0
									安定度(%)		1.1%	2.2%	4.5%	9.8%	22.0%
									安定度等級	A	A	A	A	A	A~B
A-II No. 6	1.010	2.6	4.0	53.5	127	>100	同	安定	分離水層(cm)	同	0.0	0.0	0.5	0.8	2.6
									安定度(%)		0.5%	1.2%	3.2%	5.2%	20.0%
									安定度等級	A	A	A	A	A	A~B
A-II No. 7	1.012	2.8	4.3	53.5	126	>100	同	安定	分離水層(cm)	同	0.0	0.0	0.5	0.8	2.4
									安定度(%)		0.2%	1.4%	3.2%	5.8%	22.1%
									安定度等級		A	A	A	A	A~B
A-II No. 8	—	—	—	—	—	—	—	—	分離水層(cm)	同	—	—	—	—	—
									安定度(%)		—	—	—	—	—
									安定度等級	C~D	—	—	—	—	—

註　* 乳劑より蒸發法により水分を蒸發せしめ殘留せるアスファルトの原乳劑に對する百分率である．

**此の表中の分離水層（cm）は乳劑を本所規定の貯藏安定度試驗用目盛圓筒（高 35cm，徑 3.2cm）に採り之を靜止した場合時日の經過に伴ひ乳劑の上層に分離した乳化溶液の水層を糎にて表したもので乳劑の分離の傾向を表したものである．安定度は乳劑の上下兩部分に於けるアスファルト含有量の差，即ち貯藏安定度を表したものでその差の小なるもの程安定度は良好である．

安定度の等級は別に貯藏したアスファルト乳劑試料に就て時日の經過による均等性，沈積，凝結及び分解の程度を觀察して安定度の等級を A，B，C，D にて表したものである．

中の第1行の數字は分離水層を糎にて表し，第2行の數字は貯藏安定度 (%) を示し，第3行の記號 (A, B, C, D) は上述の方法により次の規定に從つて乳劑の質の變化の程度を定性的に比較したものである．卽ち

A： 沈積及び凝結せるアスファルト質なく簡單に攪拌する事により均等なる原乳化狀態に復り，質に變化なきもの

B： 質少しく不均等にして底部に少許のアスファルト質が沈積して居るが攪拌により再乳化し略〻原乳化狀態に復るもの

C： 質不均等にして分離傾向が著しく，アスファルト質の一部が凝結し，攪拌により原乳化狀態に復らざるか，或は一部分解せるもの

D： 大部或は全部分解せるもの

等を表したものである．

1) **試製アスファルト乳劑 A-II** (第 20 表及び寫眞第 2)　　此の種の乳劑 No. 1～No. 7 は比重 (25/25°C) 1.008～1.011 ; エングラー比粘度 (25°C) 1.6～2.8 及び (4°C)

第 21 表　試製アスファルト乳劑 A-III の一般性質

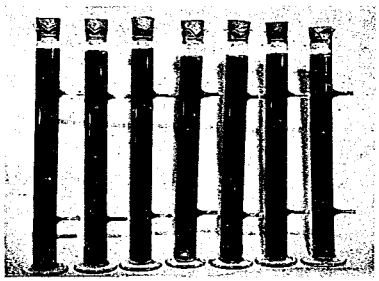
乳劑 \ 試驗項目	比重 25/25°C	比粘度 エングラー度 25°C	比粘度 エングラー度 4°C	アスファルト含有量 %	アスファルト殘留物 針度 25°C	アスファルト殘留物 延性 15°C	分解試驗・硬質石灰岩・砂 4:1 (混合法用)	低溫安定度 −5°C, 3 時間	貯藏安定度	0～½週	1 週	3 週	6 週	9 週	27週
										1～2日	7 日	21日	約1½月	約2月	約6月
A-III No. 1	1.012	3.6	5.4	57.9	120	>110	混合容易なり分解時間は2½～3½時間分解完結後は再乳化せず.	稍不安定	分離水層 (cm)	上下に分離する傾向なし	0.0	1.3	3.2	3.5	—
									安定度 (%)		−0.6 %	8.9 %	29.5 %	36.8 %	—
									安定度等級	A	A	A	B	B	B～C
A-III No. 2	1.009	3.2	5.2	55.0	114	>110	同	安定	分離水層 (cm)	同	0.5	2.0	2.8	3.2	4.8
									安定度 (%)		3.4 %	15.6 %	26.5 %	31.5 %	43.8 %
									安定度等級	A	A	A	B	B	B～C
A-III No. 3	1.012	3.6	5.4	57.7	122	>110	同	安定	分離水層 (cm)	同	0.2	0.6	1.1	1.5	2.5
									安定度 (%)		1.3 %	6.6 %	12.8 %	18.4 %	25.0 %
									安定度等級	A	A	A	A	B	B
A-III No. 4	1.010	3.4	5.5	57.1	152	>110	同	安定	分離水層 (cm)	同	0.0	0.0	0.3	0.4	2.8
									安定度 (%)		−0.8 %	1.4 %	1.8 %	4.0 %	23.5 %
									安定度等級	A	A	A	A	A	A
A-III No. 5	1.014	3.6	6.0	58.0	153	>110	同	安定	分離水層 (cm)	同	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
									安定度 (%)		0.3 %	0.9 %	−0.8 %	−1.2 %	9.3 %
									安定度等級	A	A	A	A	A	A
A-III No. 6	1.014	3.6	5.9	57.7	151	>110	同	安定	分離水層 (cm)	同	0.0	0.0	0.5	0.6	0.8
									安定度 (%)		0.5 %	0.9 %	6.2 %	6.8 %	8.3 %
									安定度等級	A	A	A	A	A	A

第 22 表　試製アスファルト乳剤 A-IV の一般性質

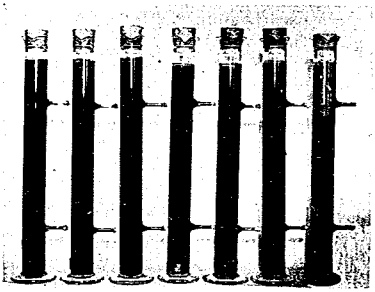
乳剤 ＼ 試験項目	比重	比粘度 エングラー度		アスファルト含有量	アスファルト殘留物		分解試験，硬質石灰岩(6～9mm)混合法用	低溫安定度 −5°C，3時間	貯藏安定度					
										0～½週	1週	3週	6週	9週	17週
										1～2日	7日	21日	約1½月	約2月	約6月
A-IV No. 1	1.010	9.2	16.2	63.1	152	>110	混合容易なり，分解時間3～3½時，分解完結後は再乳化せず	安定	分離水層(cm)	上下に分離する傾向なし	0.0	0.0	0.4	0.4	2.2
									安定度(%)		−0.5%	−0.5%	0.8%	0.8%	20.6%
									安定度等級	A	A	A	A	A	A～B
A-IV No. 2	1.010	9.8	17.6	64.9	144	>110	同	安定	分離水層(cm)	同	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
									安定度(%)		0.4%	0.6%	0.6%	0.8%	1.8%
									安定度等級	A	A	A	A	A	A
A-IV No. 3	1.012	9.2	16.3	64.5	155	>110	同	安定	分離水層(cm)	同	0.0	0.0	0.3	0.3	0.8
									安定度(%)		0.0%	0.5%	0.8%	0.7%	3.4%
									安定度等級	A	A	A	A	A	A
A-IV No. 4	1.010	9.4	16.3	64.2	149	>110	同	安定	分離水層(cm)	同	0.0	0.0	0.4	0.6	0.8
									安定度(%)		0.0%	0.2%	1.2%	3.6%	4.9%
									安定度等級	A	A	A	A	A	A
A-IV No. 5	1.012	9.4	16.0	63.9	143	>110	同	安定	分離水層(cm)	同	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
									安定度(%)		−0.2%	0.4%	−0.3%	0.4%	1.8%
									安定度等級	A	A	A	A	A～B	C
A-IV No. 6	1.012	9.5	16.5	63.0	152	>110	同	安定	分離水層(cm)	同	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7
									安定度(%)		−0.5%	0.2%	−0.5%	0.4%	2.2%
									安定度等級	A	A	A	A	B	B～C

3.2～4.0 にして夏期及び冬期の撒布及び透入用として適當な粘度を有する．アスファルト含有量は普通 50% 以上を必要とするが，No. 1 の 47.6% を除いては，總て 50.4～53.5% である．アスファルト殘留物の針度 (25°C) は 114～129，延性は (15°C) 110 以上である．分解試験は硬質石灰岩碎石 (徑：6～9mm) を用ひ撒布・透入法用試験に於て凡そ 50～45 分に分解してアスファルト被膜を生じ，2～3 時間後には分解が完結し被膜の膠着は強く之を清水と強く振盪するも剝落分離の傾向なく，再乳化性も認めない．低溫安定度は No. 1 を除き，すべて安定にして，乳剤は −5°C 程度の低溫に遭遇し一旦凍結するも，常溫に復する時は再び原の乳化狀態に復する．從つて冬期の工事に際して凍結融解後使用し得る．

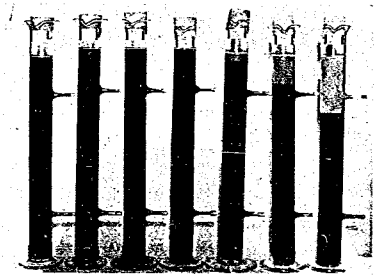
貯藏安定度 (1 週間) は No. 1 は旣に分離の傾向が著しく，No. 2 之に次ぎ，上下兩部のアスファルト含有量の差 58.5% 及び 14.0% にしていづれも規定の 10% 以下を遙に超へその安定度は不良と考へられる．然し No. 3～No. 7 は乳剤の分離の傾向がなく安定度 5.0% 以下にして良好である．次に，長期間 (3 ケ月或は 6 ケ月以上) の安定



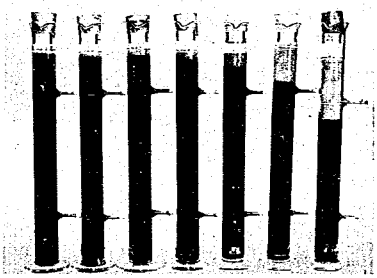
1. 試製アスファルト乳剤 A-II No. 1～No. 7 貯蔵安定度(製造後 1～2 日後)



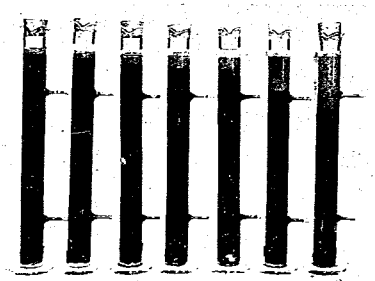
2. 試製アスファルト乳剤 A-II No. 1～No. 7 貯蔵安定度 (1 週後)



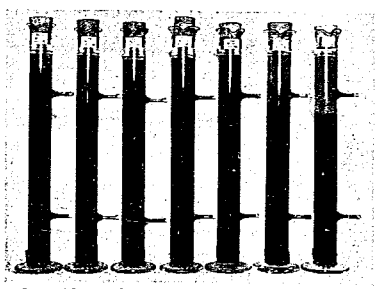
3. 試製アスファルト乳剤 A-II No. 1～No. 7 貯蔵安定度 (3 週後)



4. 試製アスファルト乳剤 A-II No. 1～No. 7 貯蔵安定度 (6 週後)

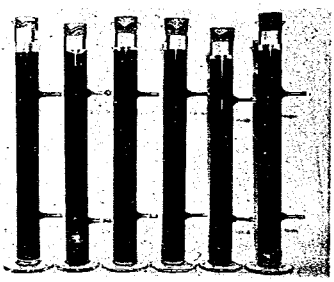


5. 試製アスファルト乳剤 A-II No. 1～No. 7 貯蔵安定度 (9 週後)

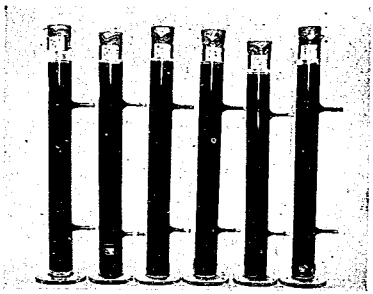


6. 試製アスファルト乳剤 A-II No. 1～No. 7 貯蔵安定度 (27 週後)

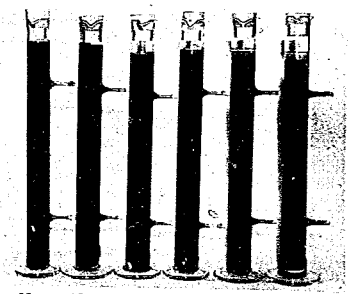
寫眞第 2



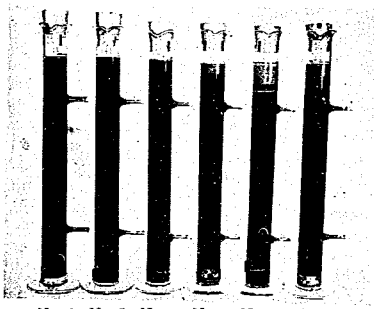
1. 試製アスファルト乳剤 A-III No. 1～No. 6 貯蔵安定度（製造後 1～2 日後）



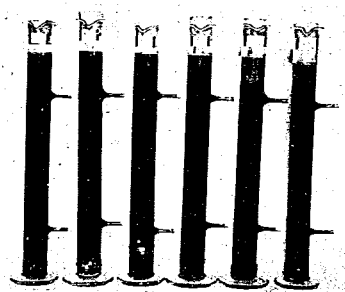
2. 試製アスファルト乳剤 A-III No. 1～No. 6 貯蔵安定度（1 週後）



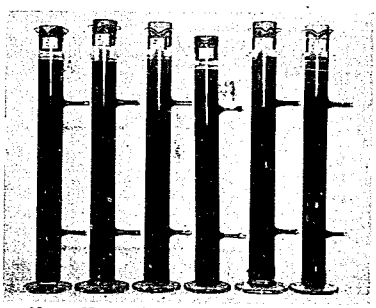
3. 試製アスファルト乳剤 A-III No. 1～No. 6 貯蔵安定度（3 週後）



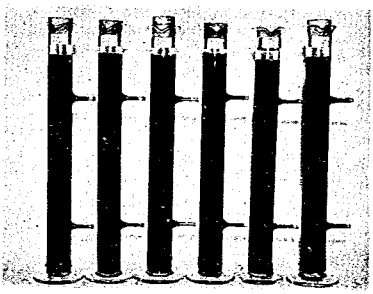
4. 試製アスファルト乳剤 A-III No. 1～No. 6 貯蔵安定度（6 週後）



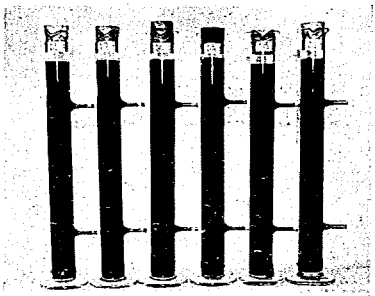
5. 試製アスファルト乳剤 A-III No. 1～No. 6 貯蔵安定度（9 週後）



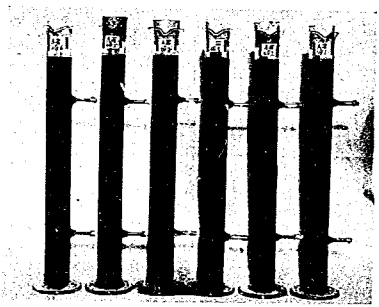
6. 試製アスファルト乳剤 A-III No. 1～No. 6 貯蔵安定度（27 週後）



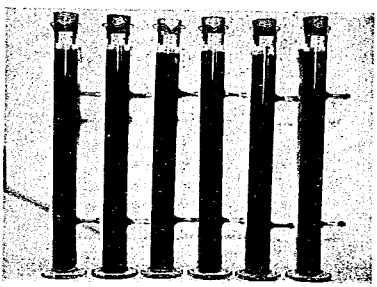
1. 試製アスファルト乳剤 A-IV No. 1～No. 6 貯蔵安定度 (製造後 1～2 日後)



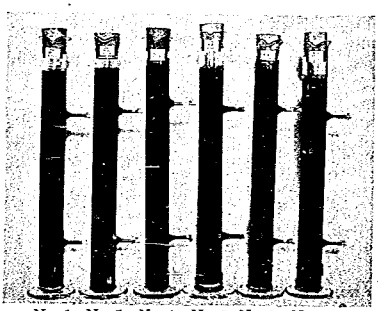
2. 試製アスファルト乳剤 A-IV No. 1～No. 6 貯蔵安定度 (1 週後)



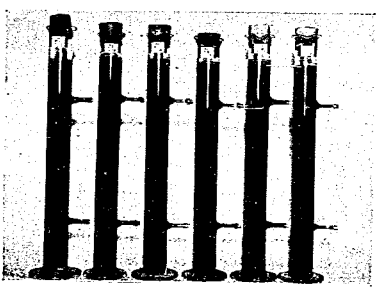
3. 試製アスファルト乳剤 A-IV No. 1～No. 6 貯蔵安定度 (3 週後)



4. 試製アスファルト乳剤 A-IV No. 1～No. 6 貯蔵安定度 (6 週後)



5. 試製アスファルト乳剤 A-IV No. 1～No. 6 貯蔵安定度 (9 週後)



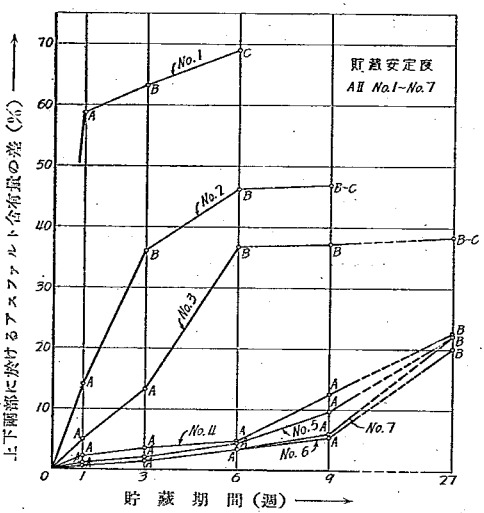
6. 試製アスファルト乳剤 A-IV No. 1～No. 6 貯蔵安定度 (27 週後)

寫眞第 4

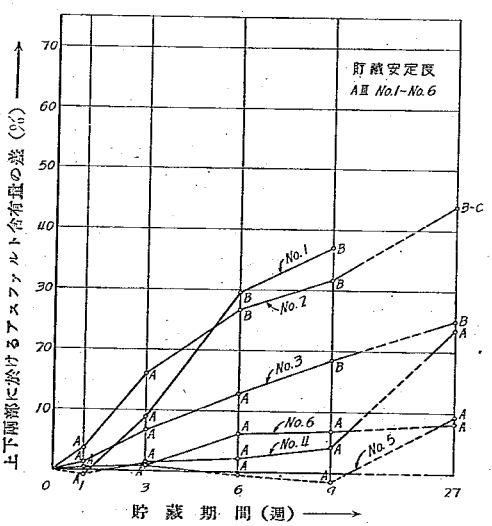
度（第1圖參照）に就ては No. 4～No. 7 が最も良好で，總て6ヶ月或は實際は製造後8ヶ月を經るも，乳劑は少しく分離し小量の沈積物を生ずるのみにして單に乳劑を攪拌することに依り原乳化狀態に復し著しい變質を認めない．從つて此の種の乳劑は ½ 年或は ⅔ 年の貯藏に堪へるものと考へられるものである．No. 3 は之に次ぐもので少くとも ¼ 年以內の使用に堪へるものと考へられ，No. 1～No. 2 は安定度最も不良であるが No. 2 は現場用乳劑として乳化後直ちに或は數日後に使用するには差支へなきも長期間の安定度は保し難きものである．

之を要するに，現場用乳劑として現場製造所に於て乳化して數日間內に直に使用するには，No. 2 程度のもので差支へなく，又 No. 3～No. 7 のものは低溫及び長期間の使用に堪へ得る撒布，透入法用乳劑として適當なるものと認め得る．

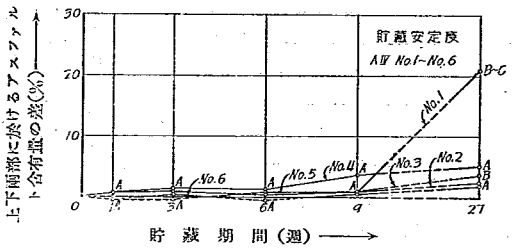
此の實驗結果を乳化溶液の調合より考察するに，No. 1 が特に安定度の不良なるは安定劑なる硅酸曹達の少しく過剩量と苛性曹達の不足に依るものと考へられ，又No. 8 乳劑が乳化の翌



第 1 圖　アスファルト乳劑 AII（透入用乳劑）各種の長期安定度比較



第 2 圖　アスファルト乳劑 A-III（混合用乳劑）各種の長期安定度比較



第 3 圖 アスファルト乳剤 A-IV (濃厚乳剤)
各種の長期安定度比較

日その冷却により全く不均等に分解したのはS.S.粉末石鹸の過剰量に依るものと考へられる．從つて，此種の粉末石鹸を主乳化劑とするアスファルト乳劑の製造には，No. 3～No. 7 の乳化溶液が最も良結果を與へたものである．卽ち，S. S. 粉末石鹸含水のまゝ 0.5～1.3 % 無水物にして 0.4～1.2 %；硅酸曹達含水のまゝ 0.0～0.6 %無水物として 0.0～0.4 %；苛性曹達 0.2 % 及溶液の比重 (25°C) はアスファルトの 1.009 に對して，1.007～1.010 である．同時に S.S. 粉末石鹸を使用しての上述の調合による乳化溶液にて製せる現場用乳劑の性質は普通の一般市販アスファルト乳劑と略〻同等にして，然も低溫及び長期間安定なる一般撒布透入用に供しうる．

此種の乳劑の用途は，

i) 防水塗布用　ii) コンクリート養生用　iii) 撒布防塵用

iv) シールコート及び路面處理用　v) 透入マカダム用

に供し得るものと考慮される．

2) **試製アスファルト乳劑 A-III** (第 21 表及び寫眞第 3)　此の乳劑 No. 1～No. 6 は比重 (25/25°C) 1.009～1.015；比粘度 (25°C) 3.2～3.6 及び (4°C) 5.2～6.0，アスファルト含有量 55.0～58.0 % である．分解試驗は混合法用として，硬質石灰岩碎石 (徑：3～9 mm) 及び砂 (10～40 番) 略〻 3：1 の混合物と混合して試驗したるに，混合極めて容易にして混合操作中に分解せず，凡そ 2½～3 時間後には分解して膠着性のアスファルト被膜を生じ更に 24 時間後には分解が完結し，混合物を清水にて振盪するもアスファルト被膜の剝脫及び再乳化現象を認めない．此の點より見て，乳劑混合マカダム式工法 (砂使用のものも含む) に最も適當と考へられる．

低溫安定度は No. 1 を除いて總て安定にして，冬期凍結融解後工事に使用して差支へない．長期間の貯藏安定度 (第 2 圖參照) に就ては No. 3～No. 6 頗る安定にして A-II No. 4～No. 7 と同樣に少くとも ½ 年以上或は ⅔ 年間の使用に堪へるものと推察し得る．No. 1～No. 2 は之に比すると遙に安定度が惡いが，然し 2～3 ケ月程度の期間の使用には差支へない．之を要するに，此種の乳劑は上述の S.S. 粉末石鹸に樹脂或は魚油を主成分とする石鹸を少量添加配合した乳化溶液を以て製造したるもので，乳劑混合マカダム式

工法に適する混合法用アスファルト乳劑である．卽ち，乳化溶液 A-III No. 4～No. 5 が示す如くS.S. 粉末石鹼 (0.3 %) に上述の石鹼の各少量 (0.3 %) を添加する事に依つてこの目的を達しうる．

此種乳劑は，路上混合及び砂使用 (10～40 番程度の砂) プラント混合マカダムの兩法に使用し得ると考へられるものである．

3) **試製アスファルト乳劑 A-VI** (第 22 表及び寫眞第 4)　此種の乳劑 A-IV No. 1～No. 6 は比重 (25/25°C) 1.010～1.012，エングラー比粘度 (25°C) 9.0～9.8，(4°C) 16.0～17.6，アスファルト含有量 63.0～65.0 % である．分解は混合法用として乳劑 A-III の場合と異り，砂 (10～40 番) を含む碎石との混合は少しく困難にして直に塊團を生じ，均等なる混合を期し難いものである．然し，砂を含まざる硬質石灰岩碎石 (徑：6～9mm) との混合は容易にして，分解速度は遲く，アスファルト被膜の形成には凡そ 3 時間以上を要し，分解の完結には少くとも 24 時間以上を要する．

低溫安定度は總て良好である．長期間の貯藏安定度 (第 3 圖參照) も頗る安定にして，特に No. 1～No. 4 は 6～8 ケ月を經るも著しい變質を認めず，少くとも ½ 年以上或は ⅔ 年程度の貯藏及び使用に堪へるものと考へられる．

之を要するに，此種の乳劑は乳化劑として上述の粉末石鹼を使用せず，樹脂或は魚油を主成分とする石鹼及びロート油を配合した乳化溶液にて製造したもので，所謂濃厚アスファルト乳劑である．其のアスファルト含有量が大で且つ濃稠であり，又分解は遲いが安定度は極めて良好である．斯の如き實驗結果より此種の乳劑の製造には乳化劑として石鹼類，含水のまゝ 0.7 %；無水物として 0.5 %；硅酸曹達，含水のまゝ 0.3 %；無水物として 0.2% ゼラチン及び苛性曹達各 0.25 % の配合で充分に安定を期し得られる事を確め得た．

その用途は，粗骨材との混合マカダム用にして濃稠なるを以て主にプラント混合に適當する．又使用に先だち清水にて適當に稀釋しその粘度を減じ透入法或は路面處理に使用するに便である．從て現場に於て維持修繕用として，やゝ貯藏し置く必要ある場合はこの種濃厚乳劑を製し置くが得策である．

[6] 實驗結果の考察及槪括

本章に於ては眞空蒸溜アスファルト (針度 25°C., 142) を原料とし，一方粉末石鹼，魚油及び樹脂石鹼竝にロート油の 4 種の石鹼類を配合し，之に他の藥品を加へて調製した乳化溶液を使用し，ハーレル乳化機 (小型 L) により撒布，透入法用乳劑，混合マカダム用乳劑及び濃厚乳劑の 3 種の乳劑を試製し乳劑及乳化溶液の性質及兩者の關係を研究した．其の結果を槪括すれば次の如し．

1) 乳化溶液の各種に就ては比重，粘度，及び表面張力，界面張力を 25°C にて測定

し，乳化能力に關する性質を試驗した．其の結果は第 17 表～第 19 表に示してある．

2) 試製アスファルト乳劑 A-II，A-III，A-IV，の各々に就ては本所規定の方法に依り，鋪裝用材料としての試驗を行ひ，その性質及び用途に就て考察し，特に低溫及び長期間（½ 年以上或は ⅔ 年間）の安定度に就てその優劣を比較し次の結果を得た．

3) 試製乳劑 A-II No. 1～No. 7 は一般に粘度低く分解速く，No. 1，No. 2 以外は低溫に安定で冬期凍結融解後使用するも差支へなく，又長期間（½ 年以上或は ⅔ 年間）の貯藏安定度も良好にして長期間の貯藏後も使用に堪へる．その用途性質は，一般に撒布，透入等に適當するを以て，防塵，シール・コート路面處理及び透入マカダム等の工法に使用し得る．

4) 試製乳劑 A-III No. 1～No. 6 はアスファルト含有量が多く分解が遲く，且つ一般に低溫に安定であり，冬期凍結後の使用にも堪へ，No. 1，No. 2 以外は長期間の貯藏に堪へる．其の用途は，路上混合及び砂入骨材との混合に適當である．

5) 試製乳劑 A-IV No. 1～No. 6 は特にアスファルト含有量が多く，頗る濃稠にして分解は遲く，低溫及び貯藏安定度はともに良好である．此種の乳劑は粗骨材との混合に適し，砂を含まざる骨材と共に混合マカダム用に供せられる．又此の乳劑は所謂濃厚乳劑にして，使用に先だち清水にて適當に稀釋し適當なる粘度にして使用するに便である．

VIII. 要　　約

本研究は K- 現場製造アスファルト乳劑の性質及び其の製法について，其の監督官廳より調査研究を依頼せられしによりて開始せるものにして，K- 現場製造狀況の調査，現場製造乳劑，現場使用乳化溶液の研究，其の改良法の研究，O- 現場乳劑の試驗，現場製造撒布用乳劑に關する注意事項等を記載し，更に進んで現場製造各種乳劑の研究をも含めるものにして，上記研究の結果を要約すれば次の如くである．

1. 現場製造アスファルト乳劑に就ては，原料たるアスファルトの質を選ぶべき事は勿論である．

2. 現場乳劑製法は，使用アスファルトに適當するものにして且つ其の用途に適合するものたるを要する．

3. 現場製造撒布用アスファルト乳劑の要件は，一般市上製品に比し稍〻異る．(第 1 表，參照)

4. 現場用乳劑の製造には，乳化機，其の運轉方法，其の他乳化に關する諸種の條件等につき充分注意することを要するは勿論である．これ等の點につきては第 IV 章に撒布用現場乳劑を對照として注意事項を列記した．他の種の現場乳劑についても，乳化溶液

の調合，瀝青及溶液注入割合以外の點については略〻同様の注意を行ふ必要がある．而して乳剤の現場製造に當りて最も重要なるは乳化溶液の調合及び性質であるから，下に各種乳剤の乳化溶液につき記す．

5. 撒布用現場アスファルト乳剤　この種乳剤は，通常分解速かなるを望み長期の安定度をあまり顧慮する要はないが，乳化の良好なることは必要である．又時としては長期安定度の良好なるを必要とする場合もある．之に用ゐる乳化溶液の例を掲ぐれば次の如し．但し本例は石鹸分の含有量少き粉末石鹸 (B) を用ゐたる 1 例にして，更に良質石鹸を用ふれば，其の量を減じ得べし．但しアスファルトは針度 100～200，比重 1.01 内外のものとす．

藥　品	卽時使用のもの	稍〻貯藏しうるもの
粉石鹸 (B)	0.35～0.45%	0.5 ～0.7%
(純石鹸分)	(0.1 ～0.12)	(0.13～0.18)
アルカリ	0.2 ～0.3	0.2
珪酸ソーダ	0.5	0.5 ～0.6
[ゼラチン	0.2]	……
	ゼラチンは珪酸ソーダの代りに用ゐうる．	
P_H	12.0 位	12.0 以上
比重	1.010 前後	1.010 前後

6. 砂入骨材混合用現場アスファルト乳剤　現場に於て透入法を行はずして，混合法によりて工事を行ふ場合には，現場製造乳剤としても混合法用乳剤を必要とする．而して混合法に於ては骨材中に砂を使用することがあるから，一般的には砂入骨材との混合可能なる乳剤を必要とする．次の乳化溶液例による時は，½ 年以上安定にして低温安定度良好なるこの種乳剤を製し得られる．

純石鹸分	0.3～0.4%	石鹸の種類は第 15 表參照
(石鹸の實使用量は石鹸の質により第 15 表中 No. 3, No. 4 等參照の事)		
珪酸ソーダ	0.5 %	この他，適當な安定劑を用ゐうる．
NaOH	0.25 %	

7. 現場製造濃厚乳剤　工事終了後，鋪裝は必ず維持修繕を要する．この目的の爲，現場に於ては，工事終末期乳劑プラント解體前に，維持修繕用乳劑を製し置くが得策である．この目的に對しては，長期の貯藏に堪へ且つ容器の節約，貯藏の便宜等の爲めなるべく，アスファルト量大なる乳劑をよしとす．次の乳化溶液例による時は ½ 年乃至

2/3 年間の貯藏に堪へ，且つ其のまゝ碎石とプラント混合を行ひ得べく，又之を適度に稀釋すれば撒布使用の可能なるアスファルト乳劑を製し得.

純石鹸分	約 0.5 %
(石鹸の種類，其の實使用量は第 16 表參照の事)	
珪酸ソーダ	0.3 %
ゼラチン	0.25 %
苛性ソーダ	0.25 %

附記

本研究試驗に就ては野島誠三君を煩したること多し，錄して感謝の意を表す.

(昭和 12 年 4 月 — 1937)

重力式岸壁の耐震限度

內務技師　松尾春雄
大門美代三

目　次

I. 緒　言……(1)
II. 計算の方法……(2)
III. 計算結果の要約……(7)

I. 緒　言

擁壁及岸壁等の崩壊は我國では地震時に起るのが常であつて，之等構造物は耐震計算に依つて設計を行はなければならぬ事は，既に今日一般に認められてゐる處である．然し從來の普通の重力形では地震に對し相當の安全率を保たしめる事の困難な事は實際に設計に携はつた者が齊しく痛感する處である．從つて耐震構造岸壁としては全然別の設計に依るか或は在來の形に特別の補强方法を施す事が必要となるのであるが，然らば從來の重力型では最大どの程度の地震に耐へ得るかに就て一應檢討して見ておく事は順序として必要と思つたので之に就ての算定を試みた．

重力擁壁では支持力及滑出の兩安定に就ての計算が先づ行はれるのである．支持力と滑出に對する安定とは，ある場合には互に切離す事の出來ない關係にある．卽支持力が不足すれば滑出を伴ふて崩壊する事は當然であるが，一方支持力が十分にあつても滑出を生ずる事は考へ得られるのであつて，實際の崩壊に就ても直接の原因は滑出によると推定される場合が多い．2, 3 の實例に就て算定した結果によるも，支持力が十分あるに拘らず滑出に對しては極めて危險な狀態にあるのが普通である．依つて重力擁壁及岸壁の滑出による崩壊限度を定める事は一般に擁壁全體の安定限度を定める事となるのである．次に述べんとするのはこの限度に就てゝあつて重力擁壁に特別に滑出に對する用意を施さない場合に，果して如何なる程度までの地震に耐へ得るかを從來の算定法によつて出した結果である．

地震の震度推定は地震計の備付ある箇所以外では倒れた墓石等の比幅を資料とするのである．卽ち此等が倒れる場合の震力と重力との合力の方向を推定するのであつて，此の場合鉛直震度を推定する事は一般に困難である．他方鉛直震度を假定しなければ水平震度も推定出來ない譯であるが，一般には鉛直震度を零として水平震度と推定するのが普通である．しかし事實は鉛直震度は零ではないのであるから合震度の方向を定めた場合の鉛直震

及
度の有無が構造物の安定に必ぼす影響は一應確めておく事が必要である．之に對し鉛直震度（上向及下向共に）を水平震度の 1/2 として計算を行ひ鉛直震度のない場合と比較した結果をも掲げた．

II. 計 算 の 方 法

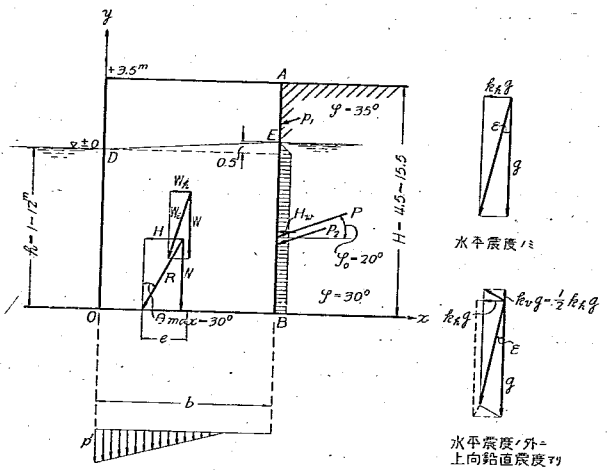
重力岸壁に就て

1. 重力岸壁の底幅の影響
2. 鉛直加速度の影響（上向及下向共）
3. 重力岸壁の水深の影響（高さと底幅との比を一定として）

以上三つの場合の計算を行ふにあたり次の假定を設けた．

（1） 壁體混凝土の斷面は一樣なる矩形とする．

（2） 壁の前面水位を基準面とし水深 h は之より測る事とし背面の水位は +0.50m,



第 1 圖

岸壁天端は常に基準面上 +3.5 m とする．

（3） 海水中にあるものとし水の單位重量は 1.03 t/m³ とする．

（4） 壁體は混凝土とし單位重量は 2.40 t/m³, 水中に於ける重量 1.37 t/m³, 浮力は第1圖DE以下に働くものとする．

（5） 裏込の土砂の單位重量は w=1.65 t/m³, 水中に於ては 1.0 t/m³.

（6） 裏込土砂の內部摩擦角 φ=35°, 土砂と壁面との摩擦角 φ_0=20°; 水中に於ては φ=30°, φ_0=20°.

（7） 底面に於ける滑出抵抗摩擦角は $\theta=30°$ とする.

上記の w, φ, φ_0, θ 等は最も普通の値をとつた積りである. 尚之は何れも裏込上の上載荷重のない場合に就て算定したものである. 計算の概要は次の通りである.

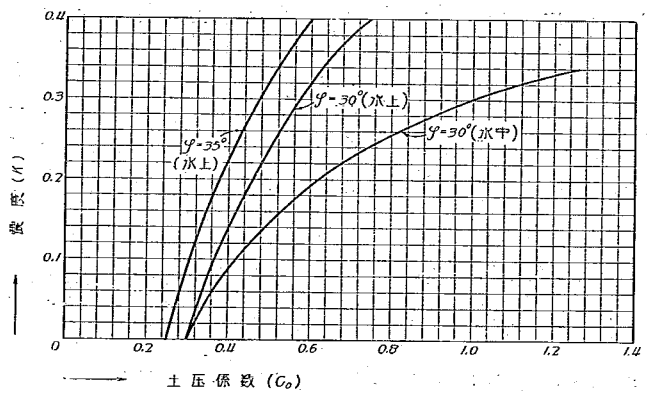
［1］ **水平震度のみの場合**

第1圖に於て　g＝重力の加速度, k_hg＝地震の場合の水平加速度, 即ち k_h は水平震度 K＝兩者の合震度, ε＝重力及地震の合加速度が重力の加速度となす角.

常時 w なる重量のものはこの地震の場合 $w/\cos\varepsilon$ なる値となる. この $1/\cos\varepsilon$ は同一震度の場合には常に係數となるから之は土壓係數 C_0 中に含めた. 土壓は第2圖の土壓表により土壓係數 C_0 を求め次式により算定する.

$$P=C_0\frac{1}{2}wh^2$$

土壓計算に際して用ひる係數 C_0 はクーロム氏土壓論より出發せるポンセレー氏圖式解法にて求めたものであつて P の方向は既記により水平線と 20° の傾をなす.



第　2　圖

計算例 1　　$b/H=0.75$　　$k_v=0$ の場合（第1圖參照）

計算の目的は b/H の種々の場合に滑出に對する安全係數が1になる如く即 $\theta=30°$ の場合の K を求めるのである. 例として示すものは水深 $h=8.0$ m, 即 $H=11.5$m, $b/H=0.75$, $k_v=0$ の場合である.

（1） 岸壁の重量及重心の位置

	重量 W	重心の位置 x	y
浮力を考慮せる場合	164.76 t/m	$(b-4.31)$ m	
浮力を考慮せざる場合	238.05 t/m		5.75 m

(II) 背面よりの水壓

水位差 0.5 m なるを以て構造物の背後に來る水壓强度は $1.03\times0.5=0.52\ \mathrm{t/m^2}$

全水壓 $H_w=0.52\times8.0+\dfrac{0.5\times0.52}{2}=4.29\ \mathrm{t}$

作用點の高さ $\bar{y}=4.13\ \mathrm{m}$

(III) 安定計算

底面に於ける滑出に對する摩擦角は $\theta=30°$ であつて，最初常時に於ける安定計算を行つた結果，合力の底面鉛直線に對する傾きは 9°～10′ である．$\theta=30°$ になる如き震度を豫め推定に依り定めるのであるが，初めに $K=0.2$ として計算を行ふ．

(a) 地震時；水平に岸壁前方に震度 0.2 の加速度が働く場合

1) 岸壁に働く水平力

浮力を考慮せざる重量に震度を乘じたるもの $W_h=238.05\times0.2=47.61$

重心の高さ $\bar{y}=5.75\ \mathrm{m}$

2) 土 壓

區間	W (t/m³)	φ	h (m)	C_0	各深さ迄の土の重量 (t/m²)	土壓力强度 (p t/m²)
AE	1.65	35°	3.0	0.38	$(E)\ 1.65\times3.0=4.95$	$4.95\times0.38=1.88$
				0.455		$4.95\times0.455=2.25$
EB	1.00	30°	8.5	0.62	$C_0wh=0.62\times1.00\times8.5=5.27(+2.25)=7.52$	

各部分の土壓力合力 P(t)	作用點の B よりの高さ y(m)	Py(tm)
$P_1=\dfrac{1.88\times3.0}{2}=2.82$	$8.5+\dfrac{3.0}{3}=9.5$	26.79
$P_2=\dfrac{2.25+7.52}{2}\times8.5=41.52$	$\dfrac{8.5}{3}\times\dfrac{2\times2.25+7.52}{2.25+7.52}=3.49$	144.90
$\Sigma P=44.34$	$\bar{y}=\dfrac{171.69}{44.34}=3.87\ \mathrm{m}$	$\Sigma Py=171.69$

即ち全土壓は 44.34t にして其の作用點の高さは B より上 3.87 m である．

3) 此等の合成力

後踵 B の廻りの力率を求むれば

$$M_B=164.76\times4.31+47.61\times5.75+44.34\times3.87\times\cos20°+4.29\times4.13=1163.26\mathrm{tm}$$

垂直力 $N=164.76+44.34\times\mathrm{siu}\ 20°=179.92\ \mathrm{t}$

水平力 $H=47.61+44.34\times\cos20°+4.29=93.57\ \mathrm{t}$

合 力 $R=\sqrt{N^2+H^2}=202.73\ \mathrm{t}$

合力の傾き $f=\tan\theta=\dfrac{H}{N}=\dfrac{93.57}{179.92}=0.520$ $\theta=27°\sim30'$

底面に於ける作用點の中心よりの偏倚 $e=\dfrac{M}{N}-\dfrac{8.625}{2}=2.22\ \mathrm{m}$

4) 底面に於ける壓力强度

參考の爲に底面の壓力强度の算定を行へば次の通りである.

$$b'=3\left(\frac{b}{2}-e\right)=3\times 2.09=6.27\ \mathrm{m}\qquad p=\frac{2N}{3\left(\frac{b}{2}-e\right)}=\frac{2\times 182.31.}{6.27}=58.15\ \mathrm{t/m^2}$$

(*b*) 水平に岸壁前方に震度 0.24 の加速度が働く場合

以上の$K=0.2$ に對する計算では $\theta=27°30'$ であるから尙大なる地震に就て算定を行ふ必要がある. 依つて $K=0.24$ に就て行ふ.

1) 岸壁に働く水平力 $W_h=238.05\times 0.24=57.13$ t, 重心の高さ $y=5.75$ m

2) 土　壓

區間	w (t/m³)	φ	h (m)	C_0	各深さ迄の土砂の重量 (t/m²)	p (t/m²)	P (t)	y (m)	Py (tm)
AE	1.65	35°	3.0	0.415 0.495	$(E)\doteqdot 4.95$	2.05 2.45	3.08	9.5	29.26
EB	1.00	30°	8.5	0.745	(B) ——	8.78	47.73	3.45	164.67
					$\Sigma P=50.81$	$\Sigma Py=193.93$			
					$\bar{y}=3.82$ m				

3) 合 成 力

$M_B=1239.14$ t-m　$N=182.14$ t　$H=109.17$ t　$R=212.37$ t

$f=\tan\theta=\frac{109.17}{182.14}=0.599$　$\theta=31°$　$e=2.49$ m

4) 底面に於ける壓力强度　$b'=5.46$ m,　$p=66.72$ t/m²

以上の計算に依り耐震限度は (*a*) の震度 0.2 と (*b*) の震度 0.24 の間にあるを知る. 依つて常時と (*a*), (*b*) の三つを過る曲線を描き 30° を通る點, 卽ち $K=0.23$ が所要の耐震限度を表すを知る.

[2] 鉛直加速度 k_v がある場合

k_h を水平震度, k_v を鉛直震度, K を兩者の合震度とすれば (第1圖參照)

$K=\tan\varepsilon$ は通常墓石等の轉倒に依つて推定し得る値である.

今 $k_v=\frac{1}{2}k_h$ とし k_v の上向を正號, 下向を負號にすれば, $K=\frac{k_h}{1-k_v}$

$k_v=\frac{1}{2}k_h$ なれば, $K=\frac{k_h}{1\mp 0.5k_h}$ 之に依つて次表を得る.

	K	0.15	0.2	0.25
$k_v\left(=\frac{1}{2}k_h\right)$ 上向	k_h	0.140	0.182	0.222
	k_v	0.070	0.091	0.111
$k_v\left(=\frac{1}{2}k_h\right)$ 下向	k_h	0.162	0.222	0.286
	k_v	−0.081	−0.111	−0.143

同様にして水面以下の土壓算定には

$$K'=\frac{k'_h w}{(1-k'_v)w'}$$　　茲に　K'＝水面以下の見掛合震度

w＝土砂の單位重量　　＝1.65t/m³

w'＝土砂の水中に於ける單位重量＝1.0 t/m³

から K に相當する各々の値を算出する.

K	0.15	0.20	0.25
K'	0.25	0.33	0.42
$k'_v\left(=\frac{1}{2}k'_h\right)$ 上向 k'_h	0.141	0.187	0.225
k'_v	0.071	0.094	0.113
$k'_v\left(=\frac{1}{2}k'_h\right)$ 下向 k'_h	0.170	0.230	0.302
k'_v	−0.085	−0.115	−0.151

この合震度に依り安定を算定する. 計算の一例を次に示す.

計算例 II　水深 8.0 m, $b/H=0.75$, k_v 上向の場合

水壓　例 I と同様にして　全水壓＝4.29 t/m　作用點の高さ $y=4.13$ m

(a) 地震時; 合震度 $K=0.15$ が働く場合　$k_h=0.14$; $k_v=0.07$

1) 土壓

E 點土壓强度 (水面上)　$p_1=(1-0.07)\times0.34\times1.65\times3.0=1.56$ t/m²

E 點土壓强度 (水面下)　$p_2=(1-0.07)\times0.41\times1.65\times3.0=1.89$ t/m²

B 點土壓强度　$p_3=(1-0.07)\times0.51\times1.00\times8.5+1.89=5.93$ t/m²

AE 間の總土壓　$P_1=\frac{1.56\times3.0}{2}=2.34$ t

EB 間の總土壓　$P_2=\frac{1.89+5.93}{2}\times8.5=33.24$ t,　$\Sigma P=35.58$ t

作用點の B よりの高さ　$\bar{y}=3.91$ m

2) 自體に働く力

水面以上の部分の常時重量　$W_1=\frac{3+3.5}{2}\times8.625\times2.4=67.28$ t/m

同じ部分の地震時鉛直力　$67.28-67.28\times0.07=62.57$ t/m

同じ部分に對する水平地震力　$0.14\times67.28=9.42$ t/m

水面以下の部分の有效重量　$W_2=\frac{8.0+8.5}{2}\times8.625\times1.37=97.48$ t/m

同じ部分の地震時の鉛直力$=97.48-\left(\frac{8.0+8.5}{2}\times8.625\times2.4\right)\times0.071=85.36$ t/m

同上　水平力$=170.77\times0.141=24.08$ t/m

以上の兩力の合力　$Wc=152.00$ t/m

3) 合成力，以上の諸力を合成すれば　$R=175.50$ t/m　$\theta=24°\sim36'$

前趾より底面作用點迄の距離　$b'=2.48$ m

壓力强度　$p_{max}=\dfrac{2R\cos\theta}{3b'}=42.93$t/m^2

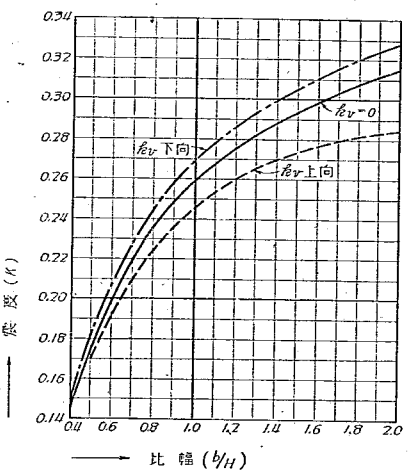
(b) 次に前同様にして合震度 $K=0.22$ が働く場合を求むれば合力の傾き $\theta=30°\sim35'$ を得，依つて例 I 同様常時の場合の $\theta=9°\sim12'$ との3點を通る曲線を描けば耐震限度 $K=0.218$を得る．

III. 計算結果の要約

以上の方法によつて計算した結果の要約を圖表にて示せば次の通りである．

(a) 底幅の增大が耐震度に及ぼす影響

第3圖の實線は鉛直震度のない場合に水深 $h=8$m の岸壁に於て $\theta_{max}=30°$ になる如き水平震度 K を反復計算に依り求めたものである．その結果は b/H を如何に大にしても K は左程大とならず極端の場合卽 $b/H=2.0$ でも尙 $K=0.32$ 以下である．しかも之は安全率が1の場合であるから重力擁壁は特殊の工法を施さない限り十分耐震的ならしめる事が出來ない事を明に示してゐる．



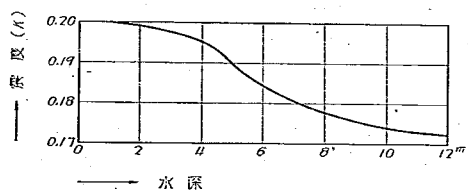
第　3　圖

(b) 鉛直加速度の影響

上記の合加速度の中に鉛直加速度が入つた場合卽ち合震度 K (卽ち角 ε) が同一であり，しかも $k_v=\dfrac{1}{2}k_h$ なる如き鉛直加速度があれば岸壁の耐震度は前記とは多少異つて第3圖の破線及鎖線にて示した狀態となる．之に依れば合震度が同一でも，その中に上向の鉛直加速度を含む地震に對しては岸壁は稍〻危險な狀態となり，反對に下向の鉛直震度を含むものは安全となる．その影響の割合は $k_v=0$ とした場合に比し最大 10% 內外である．卽ち k_v を無視して算定した場合に比しその差は割合に小であるから實際の算定には $k_v=0$ でやつて差支ないと思ふ．

(c) 岸壁の高さと耐震度との關係

$b/H=0.5$ なる一定の比幅を有する岸壁の $H=4.5\sim15.5$m (水深 $h=1.5\sim12.0$ m) の範圍



第 4 圖

に就て上記と同様滑出に對する耐震度を算定した結果を第4圖に示した. b/H を一定にしても水深の増大と共に耐震度が減少するのであるが減少の割合は小であつて水深 12m のものが $K=0.17$, 水深 2m のものが $K=0.2$ 程度である.

彈性地盤上の圓形水槽

內務技師　松　村　孫　治
中　西　健　吉

目　次

I. 緒　言……（1）
II. 圓形水槽の壁體に生ずる應力……（2）
III. 彈性地盤上に設置せる圓形水槽……（10）
IV. 水槽の壁體の應力に及ぼす下端固定狀態の影響……（16）
V. 水槽の壁體の鐵筋量が縱，橫方向にて異なる場合……（19）
VI. 數表の計算……（21）
附　錄……（24）
Table of Thomson's Function……（34）

I. 緒　言

圓形水槽の壁體の應力算定は從來幾多の技術者(1)により試みられ，種々の場合の解法が求められてゐるが水槽が彈性地盤上に設置する場合の解法は未だ求められてゐない．かかる場合理論的に正確なる解法を求めることは甚だ困難であるが，實用上使用し得る計算法は著者(2)に依りて試みられたる圓形基礎版の計算法の一例題として容易に求めることが出來る．本文に於ては床版全體が彈性地盤にて支持される場合，壁體及床版に生ずる應力算定の合理的計算を示し，特に壁體の下端と床版との連結狀態が如何に壁體の應力分布に重大なる影響を及ぼすかを明にした．

水槽の壁は一般に上部より下方に至るに從ひ厚さが漸次增加する形狀が最も經濟的である．壁の厚さが深さの任意の函數にて示さるゝ場合に理論的に正確なる解法を求めることは殆んど不可能である．厚さが深さに比例して增大する場合の解法は既に Meissner(3) 氏により求められてゐるが，同氏の解法に依る時は數値計算に當り無限級數を計算する必要

(1)　文獻に就ては Handbuch für Eisenbeton Bd. IX, 4. Auflage S. 201.
(2)　內務省土木試驗所報告第 35 號
(3)　Meissner, E.; Beanspruchung und Formänderung zylindrischer Gefässe mit linear veränderlicher Wandstärke. Vierteljahrsschr. d. Naturforsch. Ges. in Zürich Jg. 62,S. 153～168, 1917.

がある．著者は同氏の解の求め方と多少異なる方法に依り Thomson's functions[4] を使用して解を求めた．而して是等の函數の數表は既に求められたるを以て數値計算を行ふに當りては Meissner 氏の方法より便利である．

鐵筋コンクリート水槽の壁體は一般に縦と横方向に於て鐵筋量を異にする．從つて上記の諸解法はその儘の形にて適用することは不可能である．然し實用上の目的には計算するに當り壁體の彈性係數が縦と横方向にて異なると考へて差し支へなく，かかる場合も適當なる補正を行へば一樣なる壁體の場合と全く同樣なる解法が得られる．本文にては此の場合の解法を求め壁體の縦と横方向の鐵筋量の差異の應力分布に及ぼす影響を明にした．

II. 圓形水槽の壁體に生ずる應力

圓壔座標 (r, θ, z) を用ひて原點を壁體の上端の圓の中心に定む．(第一圖參照)

應力計算を行ふに當り次の二つの假定を爲す．卽ち

1. 壁體の厚さは水槽の高さ及半徑に比し小にして桁の理論が適用される．
2. フツクの法則が適用される．卽ち計算は彈性限度内の結果のみを示す．

[1] 記　號

本文に使用する記號は次の如し．(第1圖參照)

H; 水槽の高さ　a; 壁體の中央迄の半徑　t; z なる點の壁體の厚さ

t_0; 壁體の上端の厚さ　t_H; 壁體の下端の厚さ　u; z の方向の變位

ω; r の方向の變位　E, σ; 材料の彈性係數及ポアソン比

S_z; z に垂直なる壁體の斷面の單位幅に作用する直壓力

S_r; 單位高の壁體の垂直斷面に作用する水平力 (周邊力)

M; 壁體の單位幅に作用する曲げモーメント

---

(4) Thomson's function とはベツセル函數を多少變形せるものにしてベツセル函數との間に次の關係がある．

$$I_0(x\sqrt{\pm i}) = \mathrm{ber}(x) \pm i\,\mathrm{bei}(x),\quad K_0(x\sqrt{\pm i}) = \mathrm{ker}(x) \pm i\,\mathrm{kei}(x),$$

$$I_1(x\sqrt{\pm i}) = \frac{1}{\sqrt{\pm i}}\{\mathrm{ber}'(x) \pm i\,\mathrm{bei}'(x)\},$$

$$K_1(x\sqrt{\pm i}) = -\frac{1}{\sqrt{\pm i}}\{\mathrm{ker}'(x) \pm i\,\mathrm{kei}'(x)\}$$

I_0, I_1 及 K_0, K_1 は夫々 modified bessel function of 1st kind 及 2nd kind を示し，$i=\sqrt{-1}$　ber (x), bei (x), ber$'$ (x) 及 bei$'$ (x) の數表は $x=0\sim10.0$ 迄 0.1 間隔を以て British Association Report, 1912, pp. 57～68 に小數點以下9桁迄求められ，ker (x), kei (x), ker$'$ (x) 及 kei$'$ (x) は $x=0\sim10.0$ 迄 0.1 間隔に British Association Report, 1915, pp. 36～38 に求められてゐる．此の場合の有效數は 6～7 桁である．

Q; 壁體の單位幅に作用する剪斷力　γ; 水槽中の液體の單位體積の重量

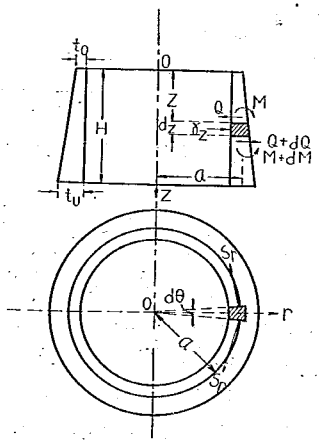
h; 壁體が直線的に增加する場合，三角形の頂點より水槽の表面迄の距離

t_b; 床版の厚さ

[2] 基本方程式

圓形水槽の壁體の水平變位 ω を與へる微分方程式は多くの參考書(5)にあるが，その求め方を簡單に說明する．

第1圖に示す $d\theta$ なる角を挾む二つの子午面及高さ dz を異にする二つの水平面に包まれる微小部分の平衡條件を求める．



第　1　圖

z 一軸の方向の單位變形 ε_z，半徑の方向の單位變形 ε_r は夫々次の如く示さる．

$$\varepsilon_z=\frac{du}{dz},\quad \varepsilon_r=\frac{2\pi(a+\omega)-2\pi a}{2\pi a}=\frac{\omega}{a} \qquad \cdots\cdots(1)$$

各斷面に作用する力 S_z (垂直の方向に作用)，S_r と ε_z, ε_r との間の關係は次の如く示さる．

$$S_z=\frac{Et}{1-\sigma^2}(\varepsilon_z+\sigma\varepsilon_r),\quad S_r=\frac{Et}{1-\sigma^2}(\varepsilon_r+\sigma\varepsilon_z) \qquad \cdots\cdots(2)$$

壁體の單位幅に作用する曲げモーメント M 及剪斷力 S は桁と考ふることにより近似的に次の如く示さる．

$$\left.\begin{aligned} M&=\frac{EI}{1-\sigma^2}\frac{d^2\omega}{dz^2}=\frac{Et^3}{12(1-\sigma^2)}\frac{d^2\omega}{dz^2}\\ Q&=\frac{dM}{dz}=-\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\frac{d}{dz}\left(t^3\frac{d^2\omega}{dz^2}\right)\end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(3)$$

壁體の自重を無視し，水壓の作用のみを考ふる時は微小部分の平衡條件は次の如く示さる．

$$\left.\begin{aligned} &z\text{ の方向};\quad \frac{dS_z}{dz}=0\\ &r\text{ の方向};\quad -\frac{dQ}{dz}+\frac{S_r}{a}=\gamma z\end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(4)$$

(5)　Th. Pöschl "Berechnung von Behältern"

(4) 式の第一式より $S_z=C$, 然るに壁體の上端に於ては $S_z=0$ なるを以て $C=0$[6], 從つて (1) 式の ε_r, ε_z を S_z に代入して

$$\frac{du}{dz}+\sigma\frac{\omega}{a}=0 \quad 又は \quad \frac{du}{dz}=-\sigma\frac{\omega}{a}$$

$\frac{du}{dz}$ の値を (1) 及 (2) 式に代入して

$$S_r=\frac{Et}{1-\sigma^2}\left(\frac{\omega}{a}-\sigma^2\frac{\omega}{a}\right)=Et\frac{\omega}{a} \quad \cdots\cdots(5)$$

(3) 及 (5) 式を (4) の二式に代入すれば

$$\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\frac{d^2}{dz^2}\left(t^3\frac{d^2\omega}{dz^2}\right)+Et\frac{\omega}{a^2}=\gamma z$$

又は

$$\frac{d^2}{dz^2}\left(t^3\frac{d^2\omega}{dz^2}\right)+\frac{12(1-\sigma^2)}{a^2}t\omega=\frac{12(1-\sigma^2)\gamma}{E}z \quad \cdots\cdots(6)$$

(6)式が壁體の變形を與へる微分方程式を示す.

[3] 壁體の厚さ一樣なる場合

厚さ一樣なるを以て (6) 式は次の如く示さる.

$$\frac{d^4\omega}{dz^4}+4k^4\omega=lz \quad \cdots\cdots(7)$$

但し

$$k^4=\frac{3(1-\sigma^2)}{a^2\cdot t^2}, \quad l=\frac{12(1-\sigma^2)}{E\cdot t^3}\gamma$$

(7) の微分方程式を解けば壁體の水平撓度 ω は附錄 [1] の (4) 式より求めらる.

$$\omega=\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t}z+A\cos kz\cosh kz+B\sin kz\cosh kz+C\cos kz\sinh kz+D\sin kz\sinh kz \quad \cdots(8)$$

又垂直の方向の角變位 $\frac{d\omega}{dz}$, 曲げモーメント M, 剪斷力 Q 及周邊力 S_r は同樣に附錄 [1] の (7) 式より求めらる.

$$\left.\begin{aligned}\frac{d\omega}{dz}&=\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t}+Ak(-\sin kz\cosh kz+\cos kz\sinh kz)\\&\quad+Bk(\cos kz\cosh kz+\sin kz\sinh kz)+Ck(-\sin kz\sinh kz\\&\quad+\cos kz\cosh kz)+Dk(\cos kz\sinh kz+\sin kz\cosh kz)\\M&=\frac{k^2\cdot E\cdot t^3}{6(1-\sigma^2)}(-A\sin kz\sinh kz+B\cos kz\sinh kz\end{aligned}\right|$$

(6) 壁體の自重, 水槽の屋根の重量を考慮する時は $S_z=C=0$ ではなく多少異なつた形となる. 然しその影響は一般に小なるを以てそれ等の影響を無視したのである.

$$
\left.\begin{aligned}
&-C\sin kz\cosh kz+D\cos kz\cosh kz)\\
Q=&-\frac{k^3\cdot E\cdot t^3}{6(1-\sigma^2)}\Big\{-A(\cos kz\sinh kz+\sin kz\cosh kz)\\
&+B(\cos kz\cosh kz-\sin kz\sinh kz)-C(\cos kz\cosh kz+\sin kz\sinh kz)\\
&+D(\cos kz\sinh kz-\sin kz\cosh kz)\Big\}\\
S_r=&\frac{E\cdot t}{a}\Big\{\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t}z+A\cos kz\cosh kz+B\sin kz\cosh kz\\
&+C\cos kz\sinh kz+D\sin kz\sinh kz\Big\}=\frac{E\cdot t}{a}\omega
\end{aligned}\right\}\cdots(9)
$$

(8), (9) 式の A, B, C 及 D は積分常數にして壁體の上下端に於ける限界條件より決定さる．一般に壁體の上下端の限界條件は蓋及床版と壁體との連結狀態，その他の條件より種々の場合があり，その場合に應じて適當なる限界條件を與へる必要がある．而してその計算方法は各場合に就て殆んど同樣にして，本文に於ける計算は必要なる場合のみに限定した．

(1)　壁體の上端に曲げモーメント M_0 及剪斷力 Q_0，下端に曲げモーメント M_u 及剪斷力 Q_u の作用する場合　　限界條件は次の如く與へらる．

$$
\left.\begin{aligned}
&z=0;\quad M=M_0,\quad Q=Q_0\\
&z=H;\quad M=M_u,\quad Q=Q_u
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(10)
$$

(9) 式の値を (10) 式に代入して常數 A, B, C 及 D を求むれば附錄[I]の (9) 式より次の如し．

$$
\left.\begin{aligned}
A=&\frac{6(1-\sigma^2)}{k^3\cdot E\cdot t^3}\cdot\frac{1}{\sinh^2kH-\sin^2kH}\Big\{-2M_u\sin kH\sinh kH\\
&+\frac{Q_0}{k}(\cos kH\sin kH-\sinh kH\cosh kH)+M_0(\cos^2kH\sinh^2kH\\
&+\sin^2kH\cosh^2kH)+\frac{Q_u}{k}(\cos kH\sinh kH-\sin kH\cosh kH)\Big\}\\
B=&\frac{6(1-\sigma^2)}{k^3\cdot E\cdot t^3}\cdot\frac{1}{\sinh^2kH-\sin^2kH}\Big\{M_u(\cos kH\sinh kH+\sin kH\cos kH)\\
&+\frac{Q_u}{k}\sin kH\sinh kH-M_0(\cosh kH\sinh kH+\sin kH\cos kH)\\
&+\frac{Q_0}{k}\sin^2kH\Big\}\\
C=&\frac{6(1-\sigma^2)}{k^3\cdot E\cdot t^3}\cdot\frac{1}{\sinh^2kH-\sin^2kH}\Big\{M_u(\cos kH\sinh kH+\sin kH\cosh kH)\\
&+\frac{Q_u}{k}\sin kH\sinh kH+\frac{Q_0}{k}\sinh^2kH-M_0(\cosh kH\sinh kH
\end{aligned}\right\}\cdots(11)_1
$$

$$+\sin kH\cos kH)\Big\}$$
$$D=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^3\cdot E\cdot t^3}M_0$$

特別の場合として水槽に蓋がなく壁體の上端が自由なる場合は $M_0=0$, $Q_0=0$ なるを以て $(11)_1$ は更に簡單となり $(11)_2$ 式に示さる.

$$\left.\begin{aligned}
A&=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^3\cdot E\cdot t^3}\,\frac{-2M_u\sin kH\sinh kH+\frac{Q_u}{k}(\cos kH\sinh kH-\sin kH\cosh kH)}{\sinh^2 kH-\sin^2 kH}\\
B&=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^3\cdot E\cdot t^3}\,\frac{M_u(\cos kH\sinh kH+\sin kH\cosh kH)+\frac{Q_u}{k}\sin kH\sinh kH}{\sinh^2 kH-\sin^2 kH}\\
C&=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^3\cdot E\cdot t^3}\,\frac{M_u(\cos kH\sinh kH+\sin kH\cosh kH)+\frac{Q_u}{k}\sin kH\sinh kH}{\sinh^2 kH-\sin^2 kH}\\
D&=0
\end{aligned}\right\}\cdots(11)_2$$

（2） 壁體の上端が自由にして下端が固定される場合　　限界條件は次の如く與へらる.

$$\left.\begin{aligned}
z=0;&\quad M=0,&\quad Q=0\\
z=H;&\quad \frac{d\omega}{dz}=0,&\quad \omega=0
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(12)_1$$

$(12)_1$ 式より常數 A, B, C 及 D を求むれば附錄［1］の (11) 式より次の如し.

$$\left.\begin{aligned}
A&=\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t\cdot k}\,\frac{\cos kH\sinh kH-2kH\cos kH\cosh kH+\sin kH\cosh kH}{\cos^2 kH+\cosh^2 kH}\\
B&=\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t\cdot k}\,\frac{kH(\cos kH\sinh kH-\sin kH\cosh kH)-\cos kH\cosh kH}{\cos^2 kH+\cosh^2 kH}\\
C&=B,\qquad D=0
\end{aligned}\right\}\cdots(12)_2$$

（3） 壁體が下端にて鉸構造にて水平變位を許さず，上端にて自由なる場合

限界條件は次の如く與へらる.

$$\left.\begin{aligned}
z=0;&\quad \frac{d^2\omega}{dz^2}=0,&\quad \frac{d^3\omega}{dz^3}=0\\
z=H;&\quad \omega=0,&\quad \frac{d^2\omega}{dz^2}=0
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(13)_1$$

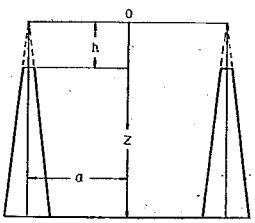
$(13)_1$ 式より常數 A, B, C, D を求むれば附錄 [1] の (13) 式より次の如し.

$$\left.\begin{aligned}
A&=-\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t}H\frac{\cos kH\sinh kH-\sin kH\cosh kH}{\sinh kH\cosh kH-\sin kH\cos kH}\\
B&=-\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t}H\frac{\sin kH\sinh kH}{\sinh kH\mathrm{conh}kH-\sin kH\cos kH}\\
C&=B;\quad D=0
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(13)_2$$

(8) 及 (9) 式に是等の A, B, C 及 D を代入して ω, $\frac{d\omega}{dz}$, M, Q 及 S_r を容易に計算することが出來る.

[4] 壁體の厚さが直線的に變化する場合

原點を第2圖の如くとる時, [2] の場合と原點の位置が異なるが ω を與へる微分方程式は右邊の z の代りに $(z-h)$ と置けば全く同樣に適用出來る.



第　2　圖

壁體の厚さ t と z との關係は次式に示さる.

$$t=\frac{t_u-t_0}{H}z$$

t の値を (6) 式に代入し上記の補正を行へば微分方程式は次の如くなる.

$$\frac{d^2}{dz^2}\left(z^3\frac{d^2\omega}{dz^2}\right)+4k^4z\omega=\lambda(z-h) \quad \cdots\cdots(14)$$

但し

$$k^4=\frac{3(1-\sigma^2)}{a^2}\frac{H^2}{(t_u-t_0)^2},\quad \lambda=\frac{12(1-\sigma^2)}{E}\left(\frac{H}{t_u-t_0}\right)^3\gamma$$

曲げモーメント M, 剪斷力 Q 及周邊力 S_r は夫々次の如し.

$$\left.\begin{aligned} M&=-\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\frac{t_u-t_0}{H}\right)^3z^3\frac{d^2\omega}{dz^2}\\ Q&=-\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\frac{t_u-t_0}{H}\right)^3z^3\left(\frac{d^3\omega}{dz^3}+\frac{3}{z}\frac{d^2\omega}{dz^2}\right)\\ S_r&=E\left(\frac{t_u-t_0}{H}\right)z\frac{\omega}{a}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(15)$$

(14) 式より壁體の撓度 ω を求むれば附錄 [2] の (23) 式より次の如く示さる.

$$\omega=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}a^2\left(1-\frac{h}{z}\right)+\frac{1}{2k\sqrt{2z}}\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})$$
$$+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})+C\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\} \quad \cdots\cdots(16)$$

角變位 $\frac{d\omega}{dz}$, 曲げモーメント M, 剪斷力 Q 及周邊力 S_r は附錄 [2] の (24) 式より次の如く示さる.

$$\left.\begin{aligned}\frac{d\omega}{dz}&=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}\frac{a^2h}{z^2}-\frac{1}{2k\sqrt{2z}}\frac{1}{z}\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})\\ &+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})+C\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\}\\ &+\frac{1}{2z}\{B\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})-A\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{ker}(2k\sqrt{2z})\end{aligned}\right\}$$

$$
\left.
\begin{aligned}
&-C\,\mathrm{kei}(2k\sqrt{2z})\}\\
M=&\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\frac{t_u-t_0}{H}\right)^3\Big[-\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}2a^2h+\frac{2z}{2k\sqrt{2z}}\Big\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})\\
&+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})+C\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\Big\}-z\Big\{B\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})\\
&-A\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{ker}(2k\sqrt{2z})-C\,\mathrm{kei}(2k\sqrt{2z})\Big\}\\
&+\frac{2k\sqrt{2z}}{4}\cdot z\Big\{B\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})-A\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})\\
&-C\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\Big\}\Big]\\
Q=&-\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\frac{t_u-t_0}{H}\right)^3\Big[-\frac{2k\sqrt{2z}}{4}\Big\{B\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})-A\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\\
&+D\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})-C\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\Big\}-\frac{(2k\sqrt{2z})^2}{8}\Big\{A\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})\\
&+B\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})+C\,\mathrm{ker}(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{kei}(2k\sqrt{2z})\Big\}\Big]\\
S_r=&\gamma a(z-h)+E\frac{t_u-t_0}{a\cdot H}\frac{z}{2k\sqrt{2z}}\Big\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})\\
&+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})+C\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\Big\}
\end{aligned}
\right\}\cdots(17)
$$

(16) 及 (17) 式に於ける A, B, C 及 D は何れも積分常數にして限界條件より決定さる．而して此の場合に常數を決定するに要する計算は厚さ一樣なる場合に比し著しく面倒である．

壁體の頂點に於ける厚さ $t_0=0$ なる場合は $h=0$ となり (16) 及 (17) 式は次の如く簡單となる．

$$
\left.
\begin{aligned}
\omega=&\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u}a^2+\frac{1}{2k\sqrt{2z}}\Big\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\Big\}\\
\frac{d\omega}{dz}=&-\frac{1}{2k\sqrt{2z}}\frac{1}{z}\Big\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\Big\}\\
&+\frac{1}{2z}\Big\{B\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})-A\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})\Big\}\\
M=&\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\frac{t_u}{H}\right)^3\Big[\frac{2z}{2k\sqrt{2z}}\Big\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\Big\}\\
&-z\Big\{B\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})-A\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})\Big\}+\frac{2k\sqrt{2z}}{4}z\Big\{B\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})\\
&-A\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\Big\}\Big]\\
Q=&-\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\frac{t_u}{E}\right)^3\Big[-\frac{2k\sqrt{2z}}{4}\Big\{B\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})-A\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\Big\}
\end{aligned}
\right\}\cdots(18)
$$

$$+\frac{(2k\sqrt{2z})^2}{8}\left\{-A\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})-B\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})\right\}\Big]$$

$$S_r=\gamma az+E\frac{t_u}{aH}\frac{z}{2k\sqrt{2z}}\left\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\right\}$$

上式に於て頂點 $z=0$ に於ては $M=0$, $Q=0$ 及 $S_r=0$ となる.

本計算は頂點に於ける壁體の厚さが 0 なる場合のみに止める.

(1) 壁體の下端に曲げモーメント M_u 及剪斷力 Q_u が作用する場合　　限界條件は次の如く示さる.

$$z=H;\qquad M=M_u,\qquad Q=Q_u$$

常數 A, B は附錄 [2] の (28) 式より次の如く示さる.

$$\left.\begin{aligned}
A&=\frac{1}{K}\frac{12(1-\sigma^2)}{E}\left(\frac{H}{t_u}\right)^3\frac{2k\sqrt{2H}}{2H}\Big[-\left\{\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})\right.\\
&\quad\left.+\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{bei}\,(2k\sqrt{2H})\right\}M_u+\frac{8H}{(2k\sqrt{2H})^2}\left\{\mathrm{bei}'\,(2k\sqrt{2H})\right.\\
&\quad\left.-\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{ber}(2k\sqrt{2H})+\frac{(2k\sqrt{2H})^2}{8}\mathrm{ber}'\,(2k\sqrt{2H})\right\}Q_u\Big]\\
B&=\frac{1}{K}\frac{12(1-\sigma^2)}{E}\left(\frac{H}{t_u}\right)^3\frac{2k\sqrt{2H}}{2H}\Big[-\left\{\mathrm{bei}'\,(2k\sqrt{2H})\right.\\
&\quad\left.+\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{ber}\,(2k\sqrt{2H})\right\}M_u-\frac{8H}{(2k\sqrt{2H})^2}\left\{\mathrm{ber}'\,(2k\sqrt{2H})\right.\\
&\quad\left.+\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{bei}\,(2k\sqrt{2H})-\frac{(2k\sqrt{2H})^2}{8}\mathrm{bei}'\,(2k\sqrt{2H})\right\}Q_u\Big]\\
K&=\frac{(2k\sqrt{2H})^3}{16}\left\{\mathrm{ber}\,(2k\sqrt{2H})\,\mathrm{ber}'\,(2k\sqrt{2H})\right.\\
&\quad\left.+\mathrm{bei}\,(2k\sqrt{2H})\,\mathrm{bei}'\,(2k\sqrt{2H})\right\}-\left\{\mathrm{ber}'\,(2k\sqrt{2H})\right.\\
&\quad\left.+\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{bei}\,(2k\sqrt{2H})\right\}^2-\left\{\mathrm{bei}'\,(2k\sqrt{2H})\right.\\
&\quad\left.-\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{ber}\,(2k\sqrt{2H})\right\}^2
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(19)$$

(2) 壁體が下端にて固定される場合　　限界條件及常數 A, B は次の如く示さる.

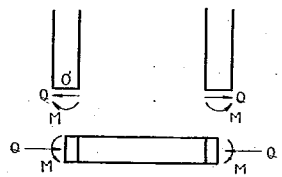
$$\left.\begin{aligned}
&z=H;\qquad \omega=0,\qquad \frac{d\omega}{dz}=0\\
&A=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u}a^2\frac{2\,\mathrm{bei}'\,(2k\sqrt{2H})-2k\sqrt{2H}\,\mathrm{ber}\,(2k\sqrt{2H})}{\mathrm{ber}'\,(2k\sqrt{2H})\,\mathrm{ber}\,(2k\sqrt{2H})+\mathrm{bei}'\,(2k\sqrt{2H})\,\mathrm{bei}\,(2k\sqrt{2H})}\\
&B=-\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u}a^2\frac{2k\sqrt{2H}\,\mathrm{bei}\,(2k\sqrt{2H})+2\,\mathrm{ber}'\,(2k\sqrt{2H})}{\mathrm{ber}'\,(2k\sqrt{2H})\,\mathrm{ber}\,(2k\sqrt{2H})+\mathrm{bei}'\,(2k\sqrt{2H})\,\mathrm{bei}\,(2k\sqrt{2H})}
\end{aligned}\right\}\cdots(20)$$

III. 彈性地盤上に設置せる圓形水槽

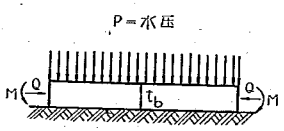
[1] 計算方法

計算方法は先づ壁體と基礎床版とを連結部に於て切り離して考へる．然る時連結部に於ては壁體及床版には同一の曲げモーメント及剪斷力が作用し且つ同一の變形を爲す．從つて曲げモーメント及剪斷力を既知とする時連結部に於ける變位を求め得れば，壁體と床版との連結點に於ける變位を等しくすることより曲げモーメント及剪斷力を求め得る．

今計算を簡單ならしむる爲に壁體及床版の自重を無視する時は第3圖に示す如く曲げモーメント M 及剪斷力 Q が作用する．然るに (3) 圖に示す如く壁體の下端に曲げモーメント及剪斷力の作用する場合の解は前節に求めた．第4圖に示す如く厚さ一樣なる (t_b) 圓形床版の彈性地盤上に設置する場合の解を求めるを要す．計算を簡單にする爲に



第 3 圖



第 4 圖

（1） 床版への水壓は水槽の內徑の部分にのみ作用するが壁體の厚さは水槽の半徑 (a) に比して小なるを以て第4圖の如く床版全體に作用する．

（2） 剪斷力は版の斷面に一樣に作用す．

（3） 床版に作用する水平直應力卽ち床版の變形する爲に生ずる曲げモーメントは小なるを以て省略する．圓形床版の周邊の水平變位に關係するは水平力 Q，角變位に關係するは水壓及周邊に作用する曲げモーメントにして是等を別々に計算することが出來る．

一樣なる厚さ t_b の圓形床版の周邊に單位長當り Q なる水平力が第4圖に示す方向に作用する場合の周邊に於ける半徑の方向への水平變位を d とすれば d は附錄 [3] の (35) 式より次の如く求めらる．

$$d=-\frac{1-\sigma}{E}\frac{Q}{t_b}a \qquad \cdots\cdots(21)$$

但し σ, E は床版の彈性係數を示し，壁體の彈性係數と異なる場合には σ, E の代りに σ_1, E_1 を用ふれば可なり．

[2] 圓形床版の周邊の角變位

周邊に於ける床版の角變位を求めるには基礎版の基本的研究（第3報）に於ける計算方法を用ふる．今その計算法の簡單なる說明を未知數5個の場合に就て行ふ．

$q(r)$;　基礎地盤の床版に作用する反力

w;　基礎地盤表面の沈下

v;　床版の地盤反力及外荷重に依る撓度

E_2, σ_2;　基礎地盤の彈性係數及ポアソン比

$$N=\frac{Et_5^3}{12(1-\sigma^2)}$$

$q(r)$ が次の冪級數にて示されると假定する.

$$q(r)=a_0+a_1\left(\frac{r}{a}\right)^2+a_2\left(\frac{r}{a}\right)^4+a_3\left(\frac{r}{a}\right)^6+a_4\left(\frac{r}{a}\right)^8+a_5\left(\frac{r}{a}\right)^{10} \qquad r<a$$
$$=0 \qquad r>a$$

上式に示さる基礎地盤反力に依る基礎地盤表面の沈下 w は

$$w=\frac{2(1-\sigma_2^2)}{E_2}a\,(a_0A_0+a_1A_1+a_2A_2+a_3A_3+a_4A_4+a_5A_5)$$

上式に於ける A_0, A_1,……A_5 は第1表に示す如し.

第 1 表　A_0, A_1,……の値 (圓形基礎版)

r	0	$0.2a$	$0.4a$	$0.6a$	$0.8a$	a
A_0	1	0.9899237219	0.9587122065	0.9027799278	0.8125495997	0.6366198724
A_1	0.3333333333	0.3431062108	0.3695891858	0.4032695075	0.4230284336	0.3536776513
A_2	0.2	0.2035520182	0.2165156031	0.2431558852	0.2789407715	0.2518134877
A_3	0.1428571428	0.1449381993	0.1524058364	0.1700817952	0.2037364314	0.1980017414
A_4	0.1111111111	0.1125869509	0.1177210689	0.1299757366	0.1582212994	0.1643053238
A_5	0.0909090909	0.0920536644	0.0959696080	0.1050836295	0.1281955501	0.1410508442

水槽の深さを H とすれば床版に作用する水壓の强さ $p_0=\gamma H$ なるを以て第 4 圖に示さる如く水壓 p_0, 彎曲力率 M 及地盤反力 $q(r)$ が作用する場合の床版の撓度 v は次の如く示される.

$$v=\frac{a^4}{N}\left(a_0B_0+a_1B_1+a_2B_2+a_3B_3+a_4B_4+a_5B_5+L_1p_0+L_2\frac{M}{a^2}\right)+C$$

常數 B_0, B_1,……B_5, L_1 及 L_2 は第2表の如し, 但し C は積分常數を示す.

第 2 表

r/a	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
B_0	0	0.003725	0.0146	0.031725	0.0536	0.078125
B_1	0	0.00104155	0.00415955	0.009294	0.01621155	0.0243055
B_2	0	0.00048611	0.00194416	0.00436771	0.00770496	0.01171875
B_3	0	0.00028125	0.0011249837	0.0025303053	0.0044832228	0.006875
B_4	0	0.0001833333	0.0007333321	0.0016498488	0.0029285611	0.0045138
B_5	0	0.0001289682	0.0005158729	0.0011606865	0.0020619337	0.0031887755

r/a	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
L_1	0	−0.003725	−0.0146	−0.031725	−0.0536	−0.078125
L_2	0	0.02	0.08	0.18	0.32	0.5

w 及 v が求めらるゝを以て未知の常數 a_0, a_1,……a_5 は次の聯立方程式より求めらる.

$$\left.\begin{aligned} &r=0,\ 0.2a,\ 0.4a,\ 0.6a,\ 0.8a,\ a; \qquad w=v \\ &a_0+\frac{1}{2}a_1+\frac{1}{3}a_2+\frac{1}{4}a_3+\frac{1}{5}a_4+\frac{1}{6}a_5=p_0 \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(22)$$

而して a_0, a_1, ……a_5 が求められる時は周邊の角變位 $\left(\frac{dv}{dr}\right)_{r=a}$, 曲げモーメント M_r 及 M_t は次に示さる.

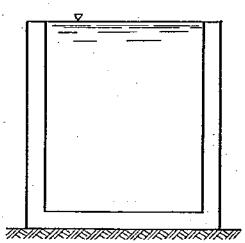
$$\left(\frac{dv}{dr}\right)_{r=a}=\frac{a^3}{N}\left\{\sum_{n=0}^{5}\frac{a_n}{(2n+2)(2n+4)}-\frac{p_0}{8}+\frac{M}{a^2}\right\} \cdots\cdots(23)$$

$$\left.\begin{aligned} M_r=a^2\Bigg[&\sum_{n=0}^{5}a_n\frac{(2n+3)}{(2n+2)^2(2n+4)}\left\{\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}-1\right\}-\frac{M}{a^2} \\ &-\frac{3p_0}{16}\left\{\left(\frac{r}{a}\right)^2-1\right\}\Bigg] \\ M_t=a^2\Bigg[&\sum_{n=0}^{5}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\left\{\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}-(2n+3)\right\} \\ &-\frac{M}{a^2}-\frac{p_0}{16}\left\{\left(\frac{r}{a}\right)^2-3\right\}\Bigg] \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(24)$$

基礎版の基本的研究（第3報）に述べたる如く，床版と基礎地盤との力學的性質は $\varepsilon=6\frac{E_2(1-\sigma^2)}{E(1-\sigma_2^2)}\left(\frac{a}{t_b}\right)^3$ にて示さるゝを以て，夫々の力學的性質が如何なる値となるも ε の値が不變なる時は一樣なる結果を與へる.

[3] 壁體の厚さ一樣にて上端自由なる水槽

第5圖に示す如く壁體の厚さ一樣なる水槽に單位體積の重量 γ なる液が充ちてゐる場合の壁體及床版に生ずる應力を求める.



第 5 圖

壁體と床版の連結面の單位幅に作用する曲げモーメントを X, 剪斷力を Y にて示す時壁の下端の水平變位及角變位は (8) 及 (9) 式に $(11)_2$ にて示さるゝ常數を代入して求めらる.

卽ち

$$(\omega)_{z=H}=\frac{a^3\cdot\gamma}{E\cdot t}H+\frac{6(1-\sigma^2)}{k^3\cdot E\cdot t^3} \times\frac{X(\sinh^2 kH+\sin^2 kH)+\frac{Y}{k}(\sinh kH\cosh kH-\sin kH\cos kH)}{\sinh^2 kH-\sin^2 kH}$$

$$\left(\frac{d\omega}{dr}\right)_{z=H}=\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t}+\frac{6(1-\sigma^2)\cdot k}{k^2\cdot E\cdot t^3}$$
$$\times\frac{2X(\sinh kH\cosh kH+\sin kH\cos kH)+\frac{Y}{k}(\sinh^2 kH+\sin^2 kH)}{\sinh^2 kH-\sin^2 kH}$$

然るに $kH=\sqrt[4]{3(1-\sigma^2)\frac{H^2}{a^2}\frac{H^2}{t^2}}$ なるを以て $\sigma=0$ なる時は dimensionless の數となり，上式は又次の如く書き改めらる．

$$\left.\begin{aligned}&\frac{E}{a^2}(\omega)_{z=H}=\gamma\frac{H}{t}+\frac{6(1-\sigma^2)}{k^2H^2}\frac{H^3}{t^3}\\&\times\frac{\frac{X}{a^2H}(\sinh^2 kH+\sin^2 kH)+\frac{1}{kH}\frac{Y}{a^2}(\sinh kH\cosh kH-\sin kH\cos kH)}{\sinh^2 kH-\sin^2 kH}\\&\frac{EH}{a^2}\left(\frac{d\omega}{dr}\right)_{z=H}=\gamma\frac{H}{t}+\frac{6(1-\sigma^2)}{kH}\frac{H^3}{t^3}\\&\times\frac{\frac{2X}{a^2H}(\sinh kH\cosh kH+\sin kH\cos kH)+\frac{1}{kH}\frac{Y}{a^2}(\sinh^2 kH+\sin^2 kH)}{\sinh^2 kH-\sin^2 kH}\end{aligned}\right\}\quad(25)$$

計算例；

計算例として次の場合の計算を行ふ．

$$a=H,\quad H=20t,\quad t_b=2t,\quad E=2\times10^5\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma=0,\quad E_2=\frac{5}{3}\times10^2\ \mathrm{kg/cm^2},\quad \sigma_2=0$$

然る時

$$kH=\sqrt[4]{3(1-\sigma^2)\frac{H^2}{a^2}\frac{H^2}{t^2}}=\sqrt[4]{1200}\fallingdotseq5.8857$$

$$\varepsilon=6\frac{E_2(1-\sigma^2)}{E(1-\sigma_2^2)}\left(\frac{a}{t_b}\right)^3=5$$

壁體の下端の水平變位 d_u，角變位を α_uとすれば (25) 式より夫々次の如く求めらる．

$$\frac{E}{a^2}d_u=20\gamma+1385.64\frac{X}{a^3}+235.43\frac{Y}{a^2}$$

$$\frac{E}{a}\alpha_u=20\gamma+16310.9\frac{X}{a^3}+1385.64\frac{Y}{a^2}$$

床版の水平變位は (21) 式より次の如く求めらる．

$$\frac{E}{a^2}d=-10\frac{Y}{a^2}$$

角變位は (22) 式の聯立方程式(1)より a_3, a_1, ……a_5 を求め (23) 式に代入して次の如

(1) 未知數は 6 個を採用し$r=0$, $0.2a$, $0.4a$, $0.6a$, $0.8a$ 及 a の 6 ヶ所に於て地盤表面の沈下と版の撓度とを一致せしめた．

く示さる.

$$\frac{E}{a}\left(\frac{dv}{dr}\right)_{r=a}=-414.814\gamma+9330.058\frac{X}{a^3}$$

壁體の下端に於ける角變位 α_u と床版周邊の角變位$\left(\frac{dv}{dr}\right)_{r=a}$とは方向逆なるを以て，壁體と床版との連結部の變位と角變位とが一致する條件は次の如く示さる.

$$d_u=d,\quad \alpha_u=-\left(\frac{dv}{dr}\right)_{r=a}$$

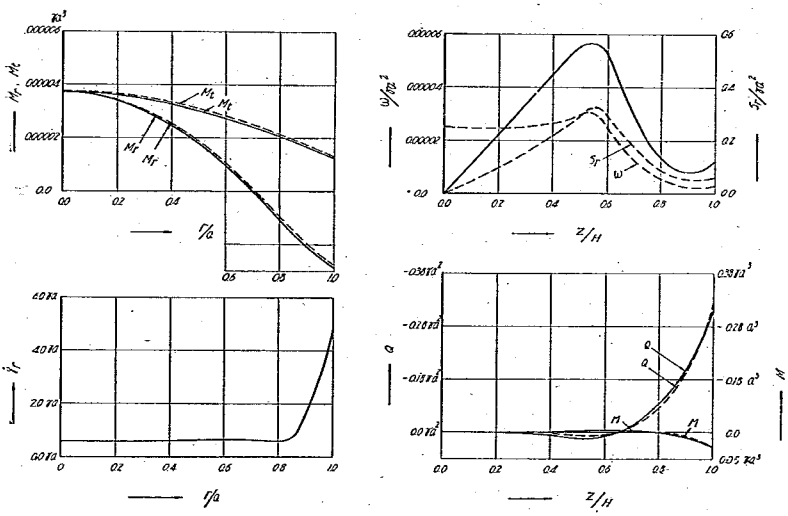
d_u, d, α_u, $\left(\frac{dv}{dr}\right)_{r=a}$ の値を上式に代入すれば,

$$1385.64\,X+245.429\,Ya=-20\,\gamma a^3 \qquad 25640.925X+1385.636\,Ya=394.814\,\gamma a^3$$

卽ち上記の聯立方程式を解きて X, Y は求められる. 此の場合は次の如く示さる.

$$X=0.0284954\,\gamma a^3,\quad Y=-0.242368\,\gamma a^2 \qquad \cdots\cdots(26)$$

(26) 式の X は壁體の下端の單位幅に作用する曲げモーメント，Y は剪斷力なるを以て $(11)_2$ 式の M_u は X, Q_u は Y に等しきを以て，(26) 式の X, Y を $(11)_2$ に代入すれば A, B, C は次の如く求めらる.



點線は三角形の場合，實線は矩形の場合

第　6　圖

$$A=-1.22634\times10^{-6}\gamma a^2,\qquad B=C=1.20074\times10^{-6}\gamma a^2,\qquad D=0$$

かく常數 A, B, C, D が求められたるを以て是等の値を (8) 及 (9) 式に代入して壁體の變位ω, 曲げモーメント M, 剪斷力 Q 及周邊力 S_r を計算し第6圖 (a) に示す.

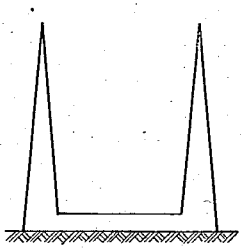
次に基礎版に作用する曲げモーメント M_r, M_t は周邊に作用する曲げモーメントが上記の X にて求められるるを以て (24) 式より計算し得る. 是等の値を第6圖 (b) に示す.

但し第6圖の $r=a$ は基礎版の周邊, r=0 は中央を示す. 且つ曲げモーメントは床版の表面を concave ならしめる方向を正とする.

是等の計算の結果水槽の壁體と基礎床版に作用する最大曲げモーメントの大さは略ゝ等しく, 且つ壁體に作用する最大曲げモーメントは水槽の下端に於て生ずる.

[4] 壁體の厚さが直線的に變化する水槽

第7圖に示す如く壁體が上端に於て零にして下端に行くと共に直線的に增加する場合壁體及床版に生ずる應力を求める. 此の場合計算方法は厚さ一樣なる場合と殆んど同一である.



第 7 圖

[3] と同樣に壁體と床版の接合面の單位幅に作用する曲げモーメントを X, 剪斷力を Y とする時は壁體の下端の水平變位 d_u, 角變位 α_u は (18), (19) 式より求められる.

卽ち

$$d_u=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u}a^2+\frac{1}{2k\sqrt{2H}}\left\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})\right\}$$

$$\alpha_u=-\frac{1}{2k\sqrt{2H}}\frac{1}{H}\left\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})\right\}$$

$$+\frac{1}{2H}\left\{B\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2H})-A\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})\right\}$$

但し式中の A, B は (19) 式に於ける M_u の代りに X, Q_u の代りに Y を代入せるものを以て示す.

計算例;

$$a=H,\quad H=20\,t_u,\quad t_b=2\,t_u,,\quad E=2\times10^5\ \mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma=0,\quad E_2=\frac{5}{3}\times10^2\ \mathrm{kg/cm^2},\quad \sigma_2=0$$

然る時

$$2k\sqrt{2H}=2\sqrt{2}\sqrt{3(1-\sigma^2)\frac{H^2}{a^2}\frac{H^2}{t_u^2}}=16.647$$

$$\varepsilon=6\frac{E_2(1-\sigma^2)}{E(1-\sigma_2^2)}\left(\frac{a}{t_b}\right)^3=5$$

$2k\sqrt{2H}=16.647$ の ber, bei, ber′ 及 bei′ の値を，6節の (34) 式の asymptotic expression より求むれば次の如し．

$$\mathrm{ber}\,(16.647)=4724.273,\qquad \mathrm{bei}\,(16.647)=-11845.057$$

$$\mathrm{ber}'\,(16.647)=11577.037,\qquad \mathrm{bei}'\,(16.647)=-4674.053$$

是等の數値を用ひて壁厚一様なる場合と全く同様なる方法にて X, Y を求め (19) 式に代入るす時は常數 A, B は次の如く求めらる．

$$A=-3.039004\times10^{-9}\,\gamma a^2,\quad B=3.072069\times10^{-7}\,\gamma a^2$$

A, B を (18) 式に代入して壁體の變位 ω, 曲げモーメント M, 剪斷力 Q 及周邊力 S_r を求め第6圖 (a) に示す．

床版に作用する地盤反力 q，曲げモーメント M_r, M_t も壁厚一様なる場合と全く同様に求められ第6圖 (b) に示す．

第6圖 (a) より壁體の變形は矩形のものに比し三角形は著しく大である．然し最大曲げモーメントは矩形のもの>方が三角形のものより大である．從つて水槽の壁體としては深さと共に厚さの增加する形狀の有利なるを知る．

IV. 水槽の壁體の應力に及ぼす下端固定狀態の影響

水槽の壁體と床版との連結狀態が應力分布に大なる影響を與へる．本節に於ては壁體の下端固定，下端鉸構造及彈性地盤上に設置せる場合の三場合に就て 1) 下端固定さるる場合必ずしも最大なる曲げモーメントが生ぜず， 2) 地盤の彈性係數の壁體の應力に及ぼす影響を明にせんとす．

先に述べたる如く床版と基礎地盤との力學的性質は $\varepsilon=6\,E_2(1-\sigma)^2a^3/E(1-\sigma_2^2)t_b^3$ にて

第 3 表 ω, M, Q, S の値 (下端固定)

壁厚	z/H	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
矩形	ω	-1×10^{-8}	2.1×10^{-5}	4.4×10^{-5}	6.1×10^{-5}	4.5×10^{-5}	0
	M	0	$9.\times10^{-5}$	-1.69×10^{-4}	-1.771×10^{-3}	-2.691×10^{-3}	1.1981×10^{-2}
	Q	0	-3.48×10^{-4}	3.955×10^{-3}	1.139×10^{-2}	-1.4256×10^{-2}	-1.55467×10^{-1}
	S_r	-9.744×10^{-3}	2.0745×10^{-1}	4.3705×10^{-1}	6.1135×10^{-1}	4456×10^{-1}	0
三角形	ω	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1.03×10^{-4}	1.05×10^{-4}	6.1×10^{-5}	0
	M	0	2×10^{-5}	1.0×10^{-5}	-5.64×10^{-4}	-1.101×10^{-3}	1.2632×10^{-2}
	Q	0	-6×10^{5}	4×10^{-4}	6.11×10^{-4}	-1.1927×10^{-2}	-1.49797×10^{-1}
	S_r	0	1.989×10^{-1}	4.123×10^{-1}	6.288×10^{-1}	4.872×10^{-1}	0

表中の數字は ω, Q, S_r は γa^2, M は γa^3 の係數を示す．

與へらるるを以て地盤の及ぼす影響は ε の函數として示さるる．下端の固定狀態の影響を知る目的なるを以て計算は水槽の上端に外荷重なき場合に就て行ふ．計算方法は III と全く同樣である．

連結狀態の影響を求める爲に III と同樣なる形狀の水槽に就て行ふ．卽ち $\alpha=H$, $H=20l$,

第 4 表　ω, M, Q 及 S_r の値 (單位 kg, cm)

	壁厚	ε	0	0.2 H	0.4 H	0.6 H	0.8 H	H
ω	矩形	0.5	-1×10^{-6}	22×10^{-6}	44×10^{-6}	51×10^{-6}	6×10^{-6}	13×10^{-6}
		1.0	-1×10^{-6}	22×10^{-6}	44×10^{-6}	51×10^{-6}	7×10^{-6}	13×10^{-6}
		5.0	-1×10^{-6}	22×10^{-6}	44×10^{-6}	53×10^{-6}	13×10^{-6}	12×10^{-6}
		10.0	-1×10^{-6}	22×10^{-6}	44×10^{-6}	54×10^{-6}	19×10^{-6}	11×10^{-6}
	三角形	0.5	100×10^{-6}	99×10^{-6}	107×10^{-6}	96×10^{-6}	13×10^{-6}	13×10^{-6}
		1.0	100×10^{-6}	99×10^{-6}	107×10^{-6}	96×10^{-6}	14×10^{-6}	13×10^{-6}
		5.0	100×10^{-6}	99×10^{-6}	106×10^{-6}	98×10^{-6}	22×10^{-6}	12×10^{-6}
		10.0	100×10^{-6}	99×10^{-6}	105×10^{-6}	99×10^{-6}	29×10^{-6}	11×10^{-6}
M	矩形	0.5	0.	0.47×10^{-4}	-7.34×10^{-4}	-29.9×10^{-4}	2.16×10^{-4}	320×10^{-4}
		1.0	0.	0.48×10^{-4}	-7.21×10^{-4}	-29.6×10^{-4}	15.8×10^{-4}	315×10^{-4}
		5.0	0.	0.53×10^{-4}	-6.36×10^{-4}	-27.6×10^{-4}	-2.41×10^{-4}	285×10^{-4}
		10	0.	0.58×10^{-4}	-5.60×10^{-4}	-25.8×10^{-4}	-6.04×10^{-4}	257×10^{-4}
	三角形	0.5	0.	0.05×10^{-4}	-0.37×10^{-4}	-10.2×10^{-4}	11.9×10^{-4}	308×10^{-4}
		1.0	0.	0.05×10^{-4}	-0.32×10^{-4}	-10.1×10^{-4}	11.3×10^{-4}	303×10^{-4}
		5.0	0.	0.05×10^{-4}	-0.30×10^{-4}	-9.1×10^{-4}	7.9×10^{-4}	274×10^{-4}
		10.0	0.	0.04×10^{-4}	-0.23×10^{-4}	-8.6×10^{-4}	4.9×10^{-4}	248×10^{-4}
Q	矩形	0.5	0.	6.31×10^{-4}	82.2×10^{-4}	98.7×10^{-4}	-636×10^{-4}	-2622×10^{-4}
		1.0	0.	6.11×10^{-4}	81.3×10^{-4}	98.8×10^{-4}	-625×10^{-4}	-2597×10^{-4}
		5.0	0.	4.71×10^{-4}	74.6×10^{-4}	99.9×10^{-4}	-551×10^{-4}	-2424×10^{-4}
		10.0	0.	3.42×10^{-4}	68.5×10^{-4}	101.0×10^{-4}	-484×10^{-4}	-2266×10^{-4}
	三角形	0.5	0.	-1.08×10^{-4}	14.8×10^{-4}	71.3×10^{-4}	-520×10^{-4}	-2531×10^{-4}
		1.0	0.	-1.07×10^{-4}	14.7×10^{-4}	71.0×10^{-4}	-510×10^{-4}	-2504×10^{-4}
		5.0	0.	-0.99×10^{-4}	12.8×10^{-4}	68.7×10^{-4}	-447×10^{-4}	-2329×10^{-4}
		10.0	0.	-0.92×10^{-4}	11.3×10^{-4}	66.8×10^{-4}	-391×10^{-4}	-2172×10^{-4}
S_r	矩形	0.5	−0.01292	0.22037	0.44951	0.50928	0.06599	0.13109
		1.0	−0.01283	0.22008	0.44917	0.51148	0.07482	0.12989
		5.0	−0.01226	0.21810	0.44696	0.52635	0.13430	0.12121
		10.0	−0.01175	0.21631	0.44494	0.53989	0.18846	0.11330
	三角形	0.5	0.	0.1987	0.4266	0.5744	0.1031	0.1268
		1.0	0.	0.1987	0.4262	0.5786	0.1125	0.1252
		5.0	0.	0.1987	0.4239	0.5862	0.1749	0.1165
		10.0	0.	0.1988	0.4218	0.5930	0.2310	0.1086

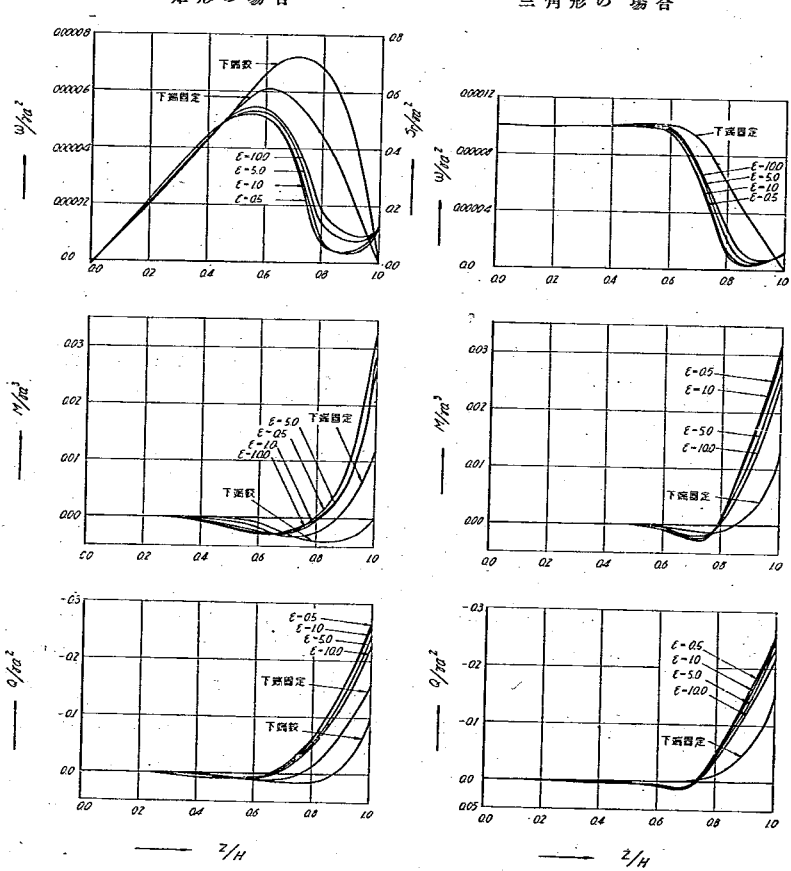
表中の數字中 ω, Q, S_r は γa^2 の係數, M は γa^3 の係數を示す．

$t_b=2t$, $E=2\times10^5\,\mathrm{kg/cm^2}$, $\sigma=\sigma_2=0$

(a) **下端固定の場合**　　一様なる厚さの場合は常數 A, B, C 及 D は (13) 式より次の如く求めらる.

$$A=-9.7015\times10^{-7}\,\gamma a^3,\quad B=C=6.37789\times10^{-7}\,\gamma a^2,\quad D=0$$

是等の値を (8) 及 (9) 式に代入し，壁體の水平變位 ω, 壁體に作用する曲げモーメント M, 剪斷力 Q 及周邊力 S_r は第3表に示す如し.



第　8　圖

（b） **彈性地盤に支持される場合**　$\varepsilon=3\times10^{-3}E_2$ 又は $E_2=\frac{100}{3}\varepsilon$ にて示され，地盤の彈性係數と ε との間の關係は次の如くである．

$\varepsilon=$	0.5	1.0	5	10
E_2 (kg/cm²)=	17	33	167	333

計算は ε=0.5, 1.0, 5 及 10 の 4 場合に就て行つた．各場合の ω, M, Q 及 S_r の値を第 4 表に示す．

（c） **壁體の下端鉸構造の場合**　此の場合計算は壁體の厚さ一樣なる場合に止めた．$(13)_2$ 式より常數 A, B, C, D を求め，(9) 式に代入し ω, M, Q 及 S_r は第 5 表に示す如し．

第 5 表　ω, M, Q 及 S_r の値

z/H	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ω	-1×10^{-6}	2×10^{-5}	4.3×10^{-5}	6.7×10^{-5}	6.8×10^{-5}	0
M	0	1.09×10^{-4}	1.57×10^{-4}	-9.69×10^{-4}	-4.107×10^{-3}	0
Q	0	-8.67×10^{-4}	1.301×10^{-3}	1.1406×10^{-2}	1.4141×10^{-2}	-8.4951×10^{-2}
S_r	-7.27×10^{-3}	1.9978×10^{-1}	4.2746×10^{-1}	6.6713×10^{-1}	6.8182×10^{-1}	0

表中 ω, Q, S_r は γa^2 の係數，M は γa^3 の係數を示す．

壁體の下端の床版との連結狀態の壁體の應力に及ぼす影響を知る爲に上記三場合の壁體の撓度，曲げモーメント，剪斷力の値を第 8 圖に示す．

第 8 圖より固定狀態の及ぼす大體の傾向を推定することが出來る．同圖より下端固定の場合より彈性地盤上にある方が却つて大なる曲げモーメントが生ずることを知る．その理由は床版が水槽中の液體の自重により變形し，壁體の下端に大なる曲げモーメントが生ずるに依ると考へらる．從つて水槽の應力計算を行ふに當りては下端の限界條件を出來る限り實際に適合する如く考慮して定める必要がある．

V. 水槽の壁體の鐵筋量が縱，橫方向にて異なる場合

鐵筋コンクリート圓形水槽は一般に鐵筋量が縱（鉛直方向）と橫（圓周に沿ふ方向）方向にて異なる．從つて鐵筋量の異なる影響を算定する必要がある．4 節迄の計算は壁體の斷面が縱，橫方向にて同一なる場合に於けるものなるを以て，此の場合に適用することが出來ない．本文に於ては縱，橫方向の鐵筋量が異なる場合，水槽の壁體を水平斷面に依り截斷されたる圓形環 (circular ring) と中心を含む垂直面にて境されたる垂直桁よりなるものとして計算する．

壁體の自重を無視する場合には第 1 節と同樣に $S_z=0$ となり，單位高さの圓形環に作用する張力 S_r は次の如く示さる．

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon_r&=\frac{2\pi(a+\omega)-2\pi a}{2\pi a}=\frac{\omega}{a}\\ S_r&=E_1t_1\varepsilon_r=E_1t_1\frac{\omega}{a}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(27)$$

圓形環と垂直桁とは總ての點に於て半徑の方向の變位は相等しきを以て，垂直桁の變位は圓形環と同樣に ω を以て示され，從つて單位幅の垂直桁に作用する曲げモーメント M 及剪斷力 Q は次の如く示さる．

$$\left.\begin{aligned}M&=\frac{E_2I_2}{1-\sigma_2^2}\frac{d^2\omega}{dz^2}=\frac{E_2t_2^3}{12(1-\sigma_2^2)}\frac{d^2\omega}{dz^2}\fallingdotseq\frac{E_2t_2^3}{12}\frac{d^2\omega}{dz^2}\\ Q&=-\frac{dM}{dz}=-\frac{E_2}{12}\frac{d}{dz}\left(t_2^3\frac{d^2\omega}{dz^2}\right)\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(28)$$

水壓の方向に於ける微小部分の平衡條件より Q と S_r の間には次式の關係がある．(第1圖參照)

$$-\frac{dQ}{dz}+\frac{S_r}{a}=\gamma(z-h)$$

(27) 及 (28) 式の S_r, Q を上式に代入すれば

$$\frac{d}{dz}\left(t_2^3\frac{d^2\omega}{dz^2}\right)+\frac{E_1}{E_2}\frac{12}{a^2}t_1\omega=\frac{12\gamma}{E_2}(z-h)\quad\cdots\cdots(29)$$

但し

t_1； 圓形環の厚さ　　t_2； 垂直桁の厚さ

E_1, E_2； 圓形環及垂直桁の彈性係數

鐵筋量が半徑の方向と垂直の方向にて異なる場合には兩方向に於ける壁體の厚さが異なるか，又は彈性係數が異なるものとして考慮することが出來る．本文に於ては兩方向に於ける厚さは等しきものとし，兩方向の彈性係數が異なるものとして鐵筋量の異なる影響を考慮することとする．從つて $t_1=t_2=t$ なるを以て (29) 式は次の如く示さる．

$$\frac{d^2}{dz^2}\left(t^3\frac{d^2\omega}{dz^2}\right)+\frac{E_1}{E_2}\frac{12}{a^2}t\omega=\frac{12\gamma}{E_2}(z-h)\quad\cdots\cdots(30)$$

(30) 式は前述の如く壁體を曲面とせず，互に直角に交る桁の集合體として求めたるを以て (30) 式より求めたる ω は理論的には正確なる値ではないが，版を互に直交する桁の集合體として取り扱ふ計算法は從來屢〻使用され，實際上の應力計算には (30) 式を用ひて差し支へないと考へらる．

(30) 式を第一節の (6) 式と比較するに微分方程式の形は全く同樣にして係數を異にするに過ぎず，從つて (6) 式と全く同樣に求め得らる．

今彈性係數が縦，横兩方向にて異なる影響を求める爲に下端固定の壁體に就て $E_1/E_2=0.5$, 1.0 及2の3場合に就て計算し第9圖に示す．

計算に使用したる資料は次の如し．

$a=H$, $H=20t_w$

$E_2=2\times10^5$ kg/cm^2

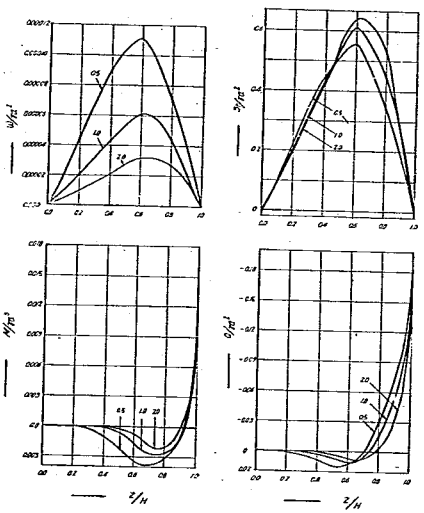
VI. 數表の計算

壁厚が深さに比例して增大する圓形水槽の解法を求めるに當り既に述べたる如く Thomson's function を心要とした．Thomson's function はベッセル函數を多少變形せるものにして次の如く示さる．

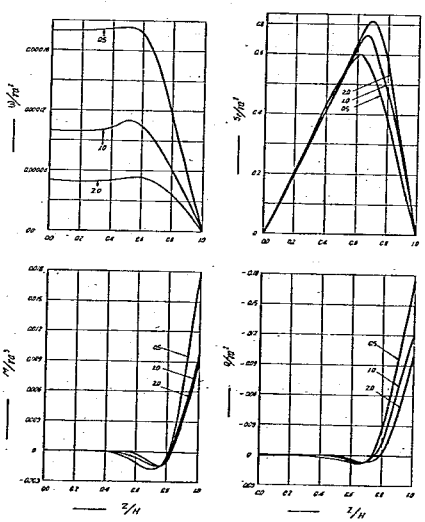
$$\left.\begin{aligned}
&\mathrm{ber}\,x\pm i\,\mathrm{bei}\,x\\
&\quad=I_0(x\sqrt{\pm i})\\
&\mathrm{ker}\,x\pm i\,\mathrm{kei}\,x\\
&\quad=K_0(x\sqrt{\pm i})\\
&\mathrm{ber}'\,x\pm i\,\mathrm{bei}'\,x\\
&\quad=\sqrt{\pm i}\,I_1(x\sqrt{\pm i})\\
&\mathrm{ker}'\,x\pm i\,\mathrm{kei}'\,x\\
&\quad=-\sqrt{\pm i}\,K_1(x\sqrt{\pm i})
\end{aligned}\right\}\quad(31)$$

是等の函數は何れも x の無限級數にて示さるゝを以て豫め數表を製作して置く必要がある．然るに是等の函數表は既に British Association Report に求められてあるが，その場合，間隔は 0.1 にして水槽の應力計算を行ふに當りては間隔の更に小なる數表を使用するが便宜である．

本文に於ては次に示すニュートン



(a) 矩形の場合



(b) 三角形の場合

第 9 圖

の補間公式 (interpolation formula) を用ひて間隔 0.02 の場合の數表を上記 British Association Report の數表より求めた.

$$f(x)=f(x_0)+\frac{u}{1!}\Delta_0+\frac{u(u-1)}{2!}\Delta_0^2+\cdots\cdots$$

$$\cdots\cdots+\frac{u(u-1)\cdots(u-n+1)}{n!}\Delta_0^n \quad\cdots\cdots(32)$$

但し $u=\dfrac{x-x_0}{\Delta x}$, Δx; 間隔, Δ_0^n は $x=x_0$ に於ける第 n 階差を示す.

British Association Report の數表は $0<x<10$ の範圍の値を求めてあり, $x>10$ に對しては Asymptotic expansion を用ふるが便宜である.

$K_v(z)$, $I_v(z)$ の Asymptotic expansion は次の如く求められる.(1)

$$\left.\begin{aligned} K_v(z)&=\left(\frac{\pi}{2z}\right)^{\frac{1}{2}}e^{-z}\sum_{m=0}^{\infty}{}'\frac{(v,\ m)}{(2z)^m}\\ I_v(z)&=\frac{e^z}{(2\pi z)^{\frac{1}{2}}}\sum_{m=0}^{\infty}{}'\frac{(-1)^m(v,m)}{(2z)^m}+\frac{e^{-z-(v+\frac{1}{2})\pi i}}{(2\pi z)^{\frac{1}{2}}}\sum_{m=0}^{\infty}{}'\frac{(v,m)}{(2z)^m}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(33)$$

where

$$(v,m)=\frac{\Gamma(v+m+\frac{1}{2})}{m!\,\Gamma(v-m+\frac{1}{2})}$$

$$=\frac{\{4v^2-1\}\{4v^2-3\}\cdots\ \{4v^2-(2m-1)^2\}}{2^{2m}m!}$$

ber x, bei x のAsymptotic expansion を求めるには (33) 式に示さるゝ $I_0(\sqrt{-i}x)$ を實部と虚部とに分つ時は ber x は實部, bei x は虚部にて示される. 同樣に ber′ x, bei′ x は $I_1(x\sqrt{-i})$ より, ker x, kei x は $K_0(x\sqrt{-i})$, ker′ x, kei′ x は $K_1(x\sqrt{-i})$ より次式の如く求めらる.

$$\left.\begin{aligned}
\mathrm{ber}\,x&=\left(\frac{1}{2\sqrt{2\pi}}\frac{1}{x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{(\alpha h_1-\beta h_2)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}+(\beta h_1+\alpha h_2)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}\\
&\quad-\left(\frac{1}{2\sqrt{2\pi}}\frac{1}{x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{(-\alpha f_1+\beta f_2)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}-(\beta f_1+\alpha f_2)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}\\
\mathrm{bei}\,x&=-\left(\frac{1}{2\sqrt{2\pi}}\frac{1}{x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{(\beta h_1+\alpha h_2)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}-(\alpha h_1-\beta h_2)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}\\
&\quad+\left(\frac{1}{2\sqrt{2\pi}}\frac{1}{x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{-(\beta f_1+\alpha f_2)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}+(\alpha f_1-\beta f_2)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}\\
\mathrm{ber}'\,x&=\left(\frac{1}{2\sqrt{2\pi}}\frac{1}{x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{(\alpha k_1+\beta k_2)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}+(\alpha k_2-\beta k_1)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}\\
&\quad-\left(\frac{1}{2\sqrt{2\pi}}\frac{1}{x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{(\alpha g_2-\beta g_1)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}+(\alpha g_1+\beta g_2)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}
\end{aligned}\right\}(34)$$

(1) Watson; Theory of Bessel Function P. 202 及 203

$$\left.\begin{aligned}
\mathrm{bei}'x&=-\left(\frac{1}{2\sqrt{2}\pi}\frac{1}{x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{(\alpha k_2-\beta k_1)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}-(\alpha k_1+\beta k_2)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}\\
&+\left(\frac{1}{2\sqrt{2}\pi}\frac{1}{x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{-(\alpha g_1+\beta g_2)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}+(\alpha g_2-\beta g_1)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}\\
\ker x&=\left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\frac{1}{x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{(\alpha f_1-\beta f_2)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}-(\beta f_1-\alpha f_2)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}\\
\mathrm{kei}\,x&=-\left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\frac{1}{x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{(\alpha f_2+\beta f_1)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}-(\beta f_2-\alpha f_1)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}\\
\ker' x&=-\left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{(\alpha g_1+\beta g_2)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}+(\beta g_1-\alpha g_2)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}\\
\mathrm{kei}'x&=\left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}x}\right)^{\frac{1}{2}}e^{-\frac{x}{\sqrt{2}}}\left\{(\alpha g_2-\beta g_1)\cos\frac{x}{\sqrt{2}}+(\beta g_2+\alpha g_1)\sin\frac{x}{\sqrt{2}}\right\}
\end{aligned}\right|$$

但し

$$\alpha=\frac{1}{2}\left\{\sqrt{\sqrt{2}+1}+\sqrt{\sqrt{2}-1}\right\},\quad \beta=\frac{1}{2}\left\{\sqrt{\sqrt{2}+1}-\sqrt{\sqrt{2}-1}\right\}$$

(34) 式中の f_1, f_2, h_1, h_2, g_1, g_2, k_1 及 k_2 は 次式に示さる.

$$f_1=1+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,1)}{2x}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,3)}{(2x)^3}-\frac{(0,4)}{(2x)^4}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,5)}{(2x)^5}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,7)}{(2x)^7}+\frac{(0,8)}{(2x)^8}$$

$$f_2=\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,1)}{2x}+\frac{(0,2)}{(2x)^2}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,3)}{(2x)^3}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,5)}{(2x)^5}-\frac{(0,6)}{(2x)^6}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,7)}{(2x)^7}$$

$$h_1=1-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,1)}{2x}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,3)}{(2x)^3}-\frac{(0,4)}{(2x)^4}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,5)}{(2x)^5}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,7)}{(2x)^7}+\frac{(0,8)}{(2x)^8}$$

$$h_2=-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,1)}{2x}+\frac{(0,2)}{(2x)^2}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,3)}{(2x)^3}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,5)}{(2x)^5}-\frac{(0,6)}{(2x)^6}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(0,7)}{(2x)^7}$$

$$g_1=1+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,1)}{2x}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,3)}{(2x)^3}-\frac{(1,4)}{(2x)^4}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,5)}{(2x)^5}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,7)}{(2x)^7}+\frac{(1,8)}{(2x)^8}$$

$$g_2=\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,1)}{2x}+\frac{(1,2)}{(2x)^2}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,3)}{(2x)^3}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,5)}{(2x)^5}-\frac{(1,6)}{(2x)^6}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,7)}{(2x)^7}$$

$$k_1=1-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,1)}{2x}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,3)}{(2x)^3}-\frac{(1,4)}{(2x)^4}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,5)}{(2x)^5}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,7)}{(2x)^7}+\frac{(1,8)}{(2x)^8}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,9)}{(2x)^9}$$

$$k_2=-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,1)}{2x}+\frac{(1,2)}{(2x)^2}-\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,3)}{(2x)^3}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,5)}{(2x)^5}-\frac{(1,6)}{(2x)^6}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,7)}{(2x)^7}+\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{(1,9)}{(2x)^9}+\frac{(1,10)}{(2x)^{10}}$$

但し

$$(0,m)=\frac{(-1^2)(-3^2)(-5^2)\cdots\cdots\{-(2m-1)^2\}}{2^{2m}m!}$$

$$(1,m)=\frac{(4-1^2)(4-3^2)(4-5^2)\cdots\cdots\{4-(2m-1)^2\}}{2^{2m}m!}$$

f_1, f_2,…… は x の數値が增加すると共に，又函數の有効數字が小なる程項數がすくなくて差し支へない.

附　錄

[Ⅰ] 壁體の厚さ一様なる場合

この場合は壁體の厚さ一様なるを以て，本文の (6) 式に於ける t は常數となり，壁體の變位を與へる微分方程式は次の如くなる．

$$\frac{d^4\omega}{dz^4}+\frac{12(1-\sigma^2)}{a^2t^2}\omega=\frac{12(1-\sigma^2)}{E\cdot t^3}\gamma z \quad\cdots\cdots(1)$$

又は

$$\frac{d^4\omega}{dz^4}+4k^4\omega=lz \quad\cdots\cdots(2)$$

但し

$$\frac{12(1-\sigma^2)}{a^2t^2}=4k^4,\qquad \frac{12(1-\sigma^2)}{E\cdot t^3}\gamma=l,\qquad \omega=\omega_0+\omega_1$$

と置き (2) に代入すれば

$$\frac{d^4\omega_0}{dz^4}+\frac{d^4\omega_1}{dz^4}+4k^4(\omega_0+\omega_1)=lz$$

從つて ω_0 を Particular Solution, ω_1 を Complementary function とすれば，ω_0, ω_1 は夫々次の微分方程式を滿足せなければならぬ．

$$\frac{d^4\omega_0}{dz^4}+4k^4\omega_0=lz \quad\cdots\cdots(3)_1$$

$$\frac{d^4\omega_1}{dz^4}+4k^4\omega_1=0 \quad\cdots\cdots(3)_2$$

$(3)_1$ 式より　　$\omega_0=\frac{l}{4k^4}z=\frac{a^2\gamma}{E\cdot t}z$

ω_1 を求むる爲に $\omega_1=e^{\lambda z}$ と置き，$(3)_2$ 式に代入すれば　　$\lambda^4+4k^4=0$,

從つて上式の四根を，λ_1, λ_2, λ_3, λ_4 とし，これ等を求むれば　　$\lambda_{1,2,3,4}=k(\pm1\pm i)$,

但し　$i=\sqrt{-1}$　とす．從つて ω_1 は次の如くなる．

$$\omega_1=A\cos kz\cosh kz+B\sin kz\cosh kz+C\cos kz\sinh kz+D\sin kz\sinh kz$$

故に (2) 式の一般解は

$$\omega=\frac{a^2\gamma}{E\cdot t}z+A\cos kz\cosh kz+B\sin kz\cosh kz+C\cos kz\sinh kz+D\sin kz\sinh kz \quad\cdots\cdots(4)$$

但し A, B, C, D は積分常數にして，限界條件を滿足される樣に決定される．

$$\frac{d\omega}{dz}=\frac{a^2\gamma}{E\cdot t}+[A(-\sin kz\cosh kz+\cos kz\sinh kz)+B(\cos kz\cosh kz+\sin kz\sinh kz)+C(-\sin kz\sinh kz+\cos kz\cosh kz)+D(\cos kz\sinh kz+\sin kz\cosh kz)]$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{d^2\omega}{dz^2}&=2k^2[-A\sin kz\sinh kz+B\cos kz\sinh kz-C\sin kz\cos kz+D\cos kz\cosh kz]\\ \frac{d^3\omega}{dz^3}&=2k^3[-A(\cos kz\sinh kz+\sin kz\cosh kz)+B(-\sin kz\sinh kz+\cos kz\cosh kz)\\ &\quad -C(\cos kz\cosh kz+\sin kz\sinh kz)+D(-\sin kz\cosh kz+\cos kz\sinh kz)]\end{aligned}\right\}\cdots(5)$$

次に曲げモーメント M, 剪斷力 Q, 周邊力 S_r, と變位 ω との關係は本文の (3) 及 (5) 式により次の如く示される.

$$\left.\begin{aligned}M&=\frac{E\cdot t^3}{12(1-\sigma^2)}\frac{d^2\omega}{dz^2}\\ Q&=\frac{E\cdot t^3}{12(1-\sigma^2)}\frac{d^3\omega}{dz^3}\\ S_r&=E\cdot t\frac{\omega}{a}\end{aligned}\right\}\cdots(6)$$

從つて (6) 式に (4) 及 (5) 式を代入して, 角變位 $\frac{d\omega}{dz}$ 曲げモーメント M, 剪斷力 Q, 周邊力 S_r は次の如く求められる.

$$\left.\begin{aligned}\frac{d\omega}{dz}&=\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t}+k[A(-\sin kz\cosh kz+\cos kz\sinh kz)+B(\cos kz\cosh kz+\sin kz\sinh kz)\\ &\quad +C(-\sin kz\sinh kz+\cos kz\cosh kz)+D(\cos kz\sinh kz+\sin kz\cosh kz)]\\ M&=\frac{k^2\cdot E\cdot t^3}{6(1-\sigma^2)}[-A\sin kz\sinh kz+B\cos kz\sinh kz-C\sin kz\cos kz+D\cos kz\cosh kz]\\ Q&=-\frac{k^3\cdot E\cdot t^3}{6(1-\sigma^2)}-A(\cos kz\sinh kz+\sin kz\cosh kz)+B(\cos kz\cosh kz-\sin kz\sinh kz)\\ &\quad -C(\cos kz\cosh kz+\sin kz\sinh kz)+D(\cos kz\sinh kz-\sin kz\cosh kz)]\\ S_r&=\frac{E\cdot t}{a}[\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t}z+A\cos kz\cosh kz+B\sin kz\cosh kz+C\cos kz\sinh kz+D\sin kz\sinh kz]\end{aligned}\right\}\cdots(7)$$

次に示す三場合に就き積分常數 A, B, C, 及 D を決定する.

1) 壁體の上體に曲げモーメント M_0, 及剪斷力 Q_0, 下端に曲げモーメント M_u, 及剪斷力 Q_u の作用する場合　　限界條件は

$$\left.\begin{aligned}Z=0,\quad M=M_0\quad Q=Q_0\\ Z=H,\quad M=M_u\quad Q=Q_u\end{aligned}\right\}\cdots(8)$$

(8) 式の第一關係を (7) 式の M, Q, に代入すれば

$$M_0=\frac{k^2\cdot E\cdot t^3}{6(1-\sigma^2)}D,\qquad Q_0=-\frac{k^3\cdot E\cdot t^3}{6(1-\sigma^2)}(B-C)$$

$$D=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^2\cdot E\cdot t^3}M_0,\qquad C=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^3\cdot E\cdot t^3}Q_0+B$$

次に (8) 式の第二の關係を, (7) 式の M, Q, に代入して

$$-A\sin kH\sin\mathrm{h}kH+B\cos kH\sin\mathrm{h}kH-C\sin kH\cos\mathrm{h}kH+D\cos kH\cos\mathrm{h}kH$$
$$=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^2\cdot E\cdot t^3}M_u$$

$$-A(\cos kH\sin kH+\sin kH\cos\mathrm{h}kH)+B(\cos kH\cos\mathrm{h}kH-\sin kH\sin\mathrm{h}kH)$$

$$-C(\cos kH\cos \mathrm{h}kH+\sin kH\sin \mathrm{h}kH)+D(\cos kH\sin \mathrm{h}kH-\sin kH\cos \mathrm{h}kH)$$
$$=-\frac{6(1-\sigma^2)}{k^3\cdot E\cdot t^3}Q_u$$

以上の式に

$$C=-\frac{6(1-\sigma^2)}{k^3\cdot E\cdot t^3}Q_0+B$$

を代入すれば

$$-A\sin kH\sin \mathrm{h}kH+B(\cos kH\sin \mathrm{h}kH-\sin kH\cos \mathrm{h}kH)$$
$$=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^2\cdot E\cdot t^3}\left[M_u-M_0\cos kH\cos \mathrm{h}kH+\frac{Q_0}{k}\sin kH\cos \mathrm{h}kH\right]$$
$$-A(\cos kH\sin \mathrm{h}kH+\sin kH\cos \mathrm{h}kH)-2B\sin kH\sinh kH$$
$$=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^2\cdot E\cdot t^3}\left[\frac{Q_0}{k}(\cos kH\cosh kH+\sin kH\sinh kH)-M_0(-\sin kH\cosh kH+\cos kH\sinh kH)-\frac{Q_u}{k}\right]$$

上の二式より A, B を求められ, 從つて A, B, C, D は次の如くなる

$$\left.\begin{aligned}
A&=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^2\cdot E\cdot t^3}\frac{1}{\sinh^2kH-\sin^2kH}\left[-2M_u\sin kH\sinh kH+\frac{Q_0}{k}(\cos kH\sin kH-\sinh kH\cosh kH)\right.\\
&\quad\left.+M_0(\cos^2kH\sinh^2kH+\sin^2kH\cosh^2kH)+\frac{Q_u}{k}(\cos kH\sinh kH-\sin kH\cosh kH)\right]\\
B&=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^2\cdot E\cdot t^3}\frac{1}{\sinh^2kH-\sin^2kH}\left[M_u(\cos kH\sinh kH+\sin kH\cosh kH)+\frac{Q_u}{k}\sin kH\sinh kH\right.\\
&\quad\left.-M_0(\cosh kH\sinh kH+\sin kH\cos kH)+\frac{Q_0}{k}\sin^2kH\right]\\
C&=\frac{6(1-\sigma^2)}{k^2\cdot E\cdot t^3}\frac{1}{\sinh^2kH-\sin^2kH}\left[M_u(\cos kH\sinh kH+\sin kH\cosh kH)+\frac{Q_u}{k}\sin kH\sinh kH\right.\\
&\quad\left.+\frac{Q_0}{k}\sinh^2kH-M_0(\sinh kH\cosh kH+\sin kH\cos kH)\right]\\
D&=-\frac{6(1-\sigma^2)}{k^2\cdot E\cdot t^3}M_0
\end{aligned}\right\}\quad(9)$$

2) 壁體の上端が自由にして下端が固定される場合. 限界條件は次の如く與へらる.

$$\left.\begin{aligned}
&Z=0;\quad M=0,\quad Q=0\\
&Z=H;\quad \frac{d\omega}{dz}=0,\quad \omega=0
\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(10)$$

(10) 式の第一條件を (7) 式の第二, 第三の式に代入して,

$$D=0,\qquad B=C,$$

是等の關係と, (10) 式の第二關係を (4) 式及 (7) 式の第一に代入して次の二つの方程式を得らる.

$$A\cos kH\cosh kH+B(\sin kH\cosh kH+\cos kH\sinh kH)=-\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t}H$$
$$A(\cos kH\sinh kH-\sin kH\cosh kH)+2B\cos kH\cosh kH=-\frac{a^2\cdot\gamma}{k\cdot E\cdot t}$$

是等の方程式から A, B を求める故に結局 A, B, C, D は次の如くなる.

$$A=\frac{a^2\gamma}{E\cdot t\cdot k}\frac{1}{\cos^2kH+\cosh^2kH}[\cos kH\sinh kH-2kH\cos kH\cosh kH+\sin kH\cosh kH]$$
$$B=\frac{a^2\gamma}{E\cdot t\cdot k}\frac{1}{\cos^2kH+\cosh^2kH}[kH(\cos kH\sinh kH-\sin kH\cosh kH)-\cos kH\cosh kH]\quad\cdots(11)$$
$$B=C,\qquad D=0$$

3) 壁盤の上端が自由にして下端が鉸構造にて水平變位を許さゞる場合　限界條件は次の如く與へらる.

$$\left.\begin{array}{lll}Z=0; & M=0, & Q=0,\\ Z=H; & \omega=0, & M=0,\end{array}\right\}\quad\cdots(12)$$

(12) 式の第一の關係を (7) 式に代入して

$$B=C,\qquad D=0$$

次に (12) 式の第二の關係を (6) 及 (7) 式に代入し上の關係式を用ふれば

$$A\cos kH\cosh kH+B(\sin kH\cosh kH+\cos kH\sin\mathrm{h}kH=-\frac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t}H$$
$$-A\sin kH\sinh kH+B(\cos kH\sinh kH-\sin kH\cosh kH)=0$$

上の聯立方程式より A, B を求める. 從つて A, B, C, D は次の如くなる.

$$\left.\begin{array}{l}A=-\dfrac{a^2\cdot\gamma}{E\cdot t}H\dfrac{\cos kH\sin\mathrm{h}kH-\sin kH\cosh kH}{\sinh kH\cosh kH-\sin kH\cos kH}\\ B=-\dfrac{a^2\gamma}{E\cdot t}H\dfrac{\sin kH\sinh kH}{\sinh kH\cosh kH-\sin kH\cos kH}\\ B=C,\qquad D=0\end{array}\right\}\quad\cdots(13)$$

[II] 壁體の厚さが直線的に變化する場合

この場合の基本式は, 本文の (14) 式 及 (15) 式より次の如く與へらる.

$$\frac{d^2}{dz^2}\left(z^3\frac{d^2\omega}{dz^2}\right)+4k^4z\omega=\lambda(z-\mathrm{h})\quad\cdots(14)$$

但し
$$k^4=\frac{3(1-\sigma^2)}{a^2}\frac{H^2}{(t_u-t_0)^2},\quad \lambda=\frac{12(1-\sigma^2)}{E}\left(\frac{H}{t_u-t_0}\right)^3\gamma^2$$

$$\left.\begin{array}{l}M=\dfrac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\dfrac{t_u-t_0}{H}\right)^3z^3\dfrac{d^2\omega}{dz^2}\\ Q=-\dfrac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\dfrac{t_u-t_0}{H}\right)^3z^3\left(\dfrac{d^3\omega}{dz^3}+\dfrac{3}{z}\dfrac{d^2\omega}{dz^2}\right)\\ S_r=E\dfrac{t_u-t_0}{H}z\dfrac{\omega}{a}\end{array}\right\}\quad\cdots(15)$$

今 (14) 式を解くために ω_0 を Particular solution, Ω を Complementary function とすれば

$$\omega=\omega_0+\Omega$$

特に
$$\omega_0=A+\frac{B}{z}$$

と置けば $\omega=A+\frac{B}{z}+\Omega$

これを (14) 式に代入すれば

$$\frac{d^2}{dz^2}\left(z^3\frac{d^2\Omega}{dz^2}\right)+4k^4z(A+\frac{B}{z}+\Omega)=\lambda(z-\mathrm{h})$$

即ち $A=\frac{\lambda}{4k^4}$, $B=-\frac{\lambda}{4k^4}\mathrm{h}$

とすれば微分方程式は次の如く表現される.

$$\frac{d^2}{dz^2}\left(z^3\frac{d^2\Omega}{dz^2}\right)+4k^4z\Omega=0 \cdots\cdots (16)_1$$

且つ $\omega=\frac{\lambda}{4k^4}\left(1-\frac{\mathrm{h}}{z}\right)+\Omega$ $\cdots\cdots (16)_2$

從つて吾々は $(16)_1$ 式を解けばよい事を知る. これを解く爲に次の如くする.

$$\frac{d}{dz}\frac{d}{dz}\left(z^3\frac{d^2\Omega}{dz^2}\right)=\frac{d}{dz}\left(z^3\frac{d^3\Omega}{dz^3}+3z^2\frac{d^2\Omega}{dz^2}\right)=\frac{d}{dz}z^2\left(3\frac{d^2\Omega}{dz^2}+z\frac{d^3\Omega}{dz^3}\right)$$

$$=\frac{d}{dz}z^2\frac{d}{dz}\left(2\frac{d\Omega}{dz}+z\frac{d^2\Omega}{dz^2}\right)=\frac{d}{dz}z^2\frac{d}{dz}\frac{1}{z}\left(2z\frac{d\Omega}{dz}+z^2\frac{d^2\Omega}{dz^2}\right)$$

$$=\frac{d}{dz}z^2\frac{d}{dz}\frac{1}{z}\frac{d}{dz}\left(z^2\frac{d\Omega}{dz}\right)$$

これを $(16)_1$ 式に代入すれば

$$\frac{1}{z}\frac{d}{dz}z^2\frac{d}{dz}\frac{1}{z}\frac{d}{dz}\left(z^2\frac{d\Omega}{dz}\right)+4k^4\Omega=0 \cdots\cdots (17)$$

從つて $\frac{1}{z}\frac{d}{dz}\left(z^2\frac{d\Omega}{dz}\right)=\pm i2k^2\Omega$ $\cdots\cdots (18)$

ならしむる時は $(16)_1$ 式を滿足さす. 何となれば今 (18) 式を (17) 式に代入すれば

$$\frac{1}{z}\frac{d}{dz}z^2\frac{d}{dz}(\pm i2k^2\Omega)=\pm i2k^2\frac{1}{z}\frac{d}{dz}z^2\frac{d}{dz}\Omega$$

$$=(i2k^2k^2)^2\Omega-+4k^4\Omega=4k^4\Omega+4k^4\Omega=0$$

從つて (18) 式の微分方程式を滿足する解は $(16)_1$ 式の微分方程式を滿足することを知る. 今 (18) 式に於て

$$i2k^2z=x, \qquad 即ち \qquad z=\frac{x}{i2k^2}$$

なる變換を施せば, (18) 式は次の如くなる.

$$\frac{d^2\Omega}{dx^2}+\frac{2}{x}\frac{d\Omega}{dx}\mp\frac{1}{x}\Omega=0 \cdots\cdots (19)$$

今 (19) の微分方程式を解く爲に次の微分方程式と比較する.

$$\frac{d^2y}{dx^2}+\frac{1-2\alpha}{x}\frac{dy}{dx}+\left(\beta^2\gamma^2x^{2\gamma-2}+\frac{\alpha^2-p^2\gamma^2}{x^2}\right)y=0,$$

$$y=x^\alpha z_p(\beta x^\gamma)$$

但し z_p は p-th. order cylindrical function を表はす.

故に　$1-2\alpha=2,$　$\beta^2\gamma^2x^{2\gamma-2}=\mp\frac{1}{x}$

$\alpha^2-p^2\gamma^2=0,$

依つて α, β, γ, p を求むれば

$$\alpha=-\frac{1}{2},\quad \gamma=\frac{1}{2},\quad p=1,\quad \beta^4=\pm4$$

$$\therefore\quad \beta_1=2,\quad \beta_2=2i$$

以上の比較より　$\Omega=x^{-\frac{1}{2}}z(\beta x^{\frac{1}{2}})$

従つて　$\Omega=x^{-\frac{1}{2}}\{AJ_1(\beta_1x^{\frac{1}{2}})+BY_1(\beta_1x^{\frac{1}{2}})+CJ_1(\beta_2x^{\frac{1}{2}})+DY_1(\beta_2x^{\frac{1}{2}})\}$

然るに　$x=i\,2\,k^2z$　$\therefore\quad \sqrt{x}=\sqrt{2i}\,k\sqrt{z}=(1+i)k\sqrt{z}$

又,　$x^{-\frac{1}{2}}=\frac{1}{1+i}\frac{1}{k\sqrt{z}}=\frac{1-i}{2}\frac{1}{k\sqrt{z}}$

故に　$\beta_1x^{\frac{1}{2}}=2(1+i)k\sqrt{z},\quad \beta_2x^{\frac{1}{2}}=2\,i(1+i)k\sqrt{z}=2(i-1)k\sqrt{z}$

従つて　$\Omega=\frac{1}{k\sqrt{z}}[AJ_1\{(1+i)2k\sqrt{z}\}+BY_1\{(1+i)2k\sqrt{z}\}$
$+CJ_1\{(i-1)2k\sqrt{z}\}+DY_1\{(i-1)2k\sqrt{z}\}]$

依つて $(16)_2$ 式より

$$\omega=\frac{\lambda}{4k^4}\left(1-\frac{h}{z}\right)+\frac{1}{k\sqrt{z}}[AJ_1\{(1+i)2k\sqrt{z}\}+BY_1\{(1+i)2k\sqrt{z}\}$$
$$+CJ_1\{(i-1)2\,k\sqrt{z}\}+DY_1\{(i-1)2\,k\sqrt{z}\}]$$

又,　$\frac{\lambda}{4k^4}=\frac{12(1-\sigma^2)}{E}\left(\frac{H}{t_u-t_0}\right)^3\gamma\Big/\frac{12(1-\sigma^2)}{a^2}\left(\frac{H}{t_u-t_0}\right)^3=\frac{a^2H\cdot\gamma}{E(t_u-t_0)}$

なることに注意すれば

$$\omega=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}a^2\left(1-\frac{h}{z}\right)+\frac{1}{k\sqrt{z}}[AJ_1\{(1+i)2\,k\sqrt{z}\}+BY_1\{(1+i)2k\sqrt{z}\}$$
$$+CJ_1\{(i-1)2\,k\sqrt{z}\}+DY_1\{(i-1)2\,k\sqrt{z}\}]\cdots\cdots\cdots(20)$$

但し　A, B, C, D は積分常数を示す.

(20) 式に於て, J_1, Y_1 の代りに Modified Bessel's function I_1, K_1 を使用すれば

$$\omega=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}a^2\left(1-\frac{h}{z}\right)+\frac{1}{k\sqrt{z}}[AI_1(\sqrt{-i}2\,k\sqrt{2z})+BI_1(\sqrt{i}\,2\,k\sqrt{2z})$$
$$+CK_1(\sqrt{-i}2\,k\sqrt{2z})+DK_1(\sqrt{i}\,2k\sqrt{2z})]\cdots\cdots(21)$$

今,　$x=2\,k\sqrt{2z},\quad \sqrt{-i}x=\sqrt{-i}2k\sqrt{2z}=\alpha,\quad \sqrt{i}x=\sqrt{i}\,2\,k\sqrt{2z}=\beta$

と置けば

$$\omega=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}a^2\left(1-\frac{h}{z}\right)+\frac{1}{2\,k\sqrt{2z}}\{AI_1(\alpha)+BI_1(\beta)+CK_1(\alpha)+DK_1(\beta)\}$$

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{d\omega}{dz}=-\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}\frac{a^2\mathrm{h}}{z^2}-\frac{1}{2k\sqrt{2z}}\frac{1}{z}\{AI_1(\alpha)+BI_1(\beta)+CK_1(\alpha)+DK_1(\beta)\}\\
&\quad+\frac{1}{2}\frac{1}{z}\{\sqrt{-i}AI_0(\alpha)+\sqrt{i}BI_0(\beta)-\sqrt{-i}CK_0(\alpha)-\sqrt{i}DK_0(\beta)\}\\
&\frac{d^2\omega}{dz^2}=-\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}\frac{2a^2\mathrm{h}}{z^3}+\frac{2}{2k\sqrt{2z}}\frac{1}{z^3}\{AI_1(\alpha)+BI_1(\beta)+CK_1(\alpha)+DK_1(\beta)\}\\
&\quad-\frac{1}{z^3}\{\sqrt{-i}AI_0(\alpha)+\sqrt{i}BI_0(\beta)-\sqrt{-i}CK_0(\alpha)-\sqrt{i}DK_0(\beta)\}\\
&\quad+\frac{1}{4}\frac{2k\sqrt{2}}{\sqrt{z}}\frac{1}{z}\{-iAI_1(\alpha)+iBI_1(\beta)-iCK_1(\alpha)+iDK_1(\beta)\}\\
&\frac{d^3\omega}{dz^3}+\frac{3}{z}\frac{d^2\omega}{dz^2}=\frac{1}{4}\frac{2k\sqrt{2}}{\sqrt{z}}\frac{1}{z^2}\{iAI_1(\alpha)-iBI_1(\beta)+iCK_1(\alpha)-iDK_1(\beta)\}\\
&\quad-\frac{(2k\sqrt{2})^2}{8}\frac{1}{z^3}\{i\sqrt{-i}AI_0(\alpha)-i\sqrt{i}BI_0(\beta)-i\sqrt{-i}CK_0(\alpha)\\
&\quad+i\sqrt{i}DK_0(\beta)\}
\end{aligned}\right\}\cdots(22)$$

次に (22) 式に Thomson's function を使用するに先づ

$$I_0(x\sqrt{\pm i})=\mathrm{ber}\,x\pm\mathrm{bei}\,x,\quad K_0(x\sqrt{\pm i})=\mathrm{ker}\,x\pm\mathrm{kei}\,x$$

$$I_1(x\sqrt{\pm i})=\frac{1}{\sqrt{\pm i}}(\mathrm{ber}'x\pm i\,\mathrm{bei}'x),\quad K_1(x\sqrt{\pm i})=-\frac{1}{\sqrt{\pm i}}(\mathrm{ker}'x\pm\mathrm{kei}'x)$$

の關係より

$$AI_1(\alpha)+BI_1(\beta)=a\,\mathrm{ber}'x+b\,\mathrm{bei}'x,\quad CK_1(\alpha)+DK_1(\beta)=c\,\mathrm{ker}'x+b\,\mathrm{kei}'x$$

とゝに

$$\frac{A}{\sqrt{-i}}+\frac{B}{\sqrt{i}}=a,\qquad -\frac{B}{\sqrt{i}}+\frac{A}{\sqrt{-i}}=-ib,$$

$$\frac{C}{\sqrt{-i}}+\frac{D}{\sqrt{i}}=-c,\qquad -\frac{D}{\sqrt{i}}+\frac{C}{\sqrt{-i}}=-id$$

$$\therefore\quad A=\frac{(a+b)+i(b-a)}{2\sqrt{2}},\qquad B=\frac{(a+b)-i(b-a)}{2\sqrt{2}}$$

$$C=-\frac{(c+d)+i(d-c)}{2\sqrt{2}},\qquad D=-\frac{(c+d)-i(d-c)}{2\sqrt{2}}$$

故に

$$\sqrt{-i}AI_0(\alpha)+\sqrt{i}BI_0(\beta)=b\,\mathrm{ber}x-a\,\mathrm{bei}x,\quad \sqrt{-i}CK_0(\alpha)+\sqrt{i}DK_0(\beta)=-d\,\mathrm{ker}x+c\,\mathrm{kei}x$$

$$-iAI_1(\alpha)+iBI_1(\beta)=b\,\mathrm{ber}'x-a\,\mathrm{bei}'x\qquad -iCK_1(\alpha)+iDK_1(\beta)=d\,\mathrm{ker}'x-c\,\mathrm{kei}'x$$

$$-i\sqrt{-i}AI_0(\alpha)+i\sqrt{i}BI_0(\beta)=-a\mathrm{ber}x-b\mathrm{bei}x,\quad -i\sqrt{-i}CK_0(\alpha)+i\sqrt{i}DK_0(\beta)=c\mathrm{ker}x+d\mathrm{kei}x$$

以上を (22) 式に代入すれば

$$\omega=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}a^2\left(1-\frac{\mathrm{h}}{z}\right)+\frac{1}{x}\{a\,\mathrm{ber}'x+b\,\mathrm{bei}'x+c\,\mathrm{ker}'x+d\,\mathrm{kei}'x\}$$

$$\frac{d\omega}{dz}=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}\frac{a^2\mathrm{h}}{z^2}-\frac{1}{x}\frac{1}{z}(a\,\mathrm{ber}'x+b\,\mathrm{bei}'x+c\,\mathrm{ker}'x+d\,\mathrm{kei}'x)$$

$$+\frac{1}{2z}(b\,\mathrm{ber}x-a\,\mathrm{bei}x+d\,\mathrm{ker}x-c\,\mathrm{kei}x)$$

$$\frac{d^2\omega}{dz^2}=-\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}\frac{2a^2\mathrm{h}}{z^3}+\frac{2}{x}\frac{1}{z^2}(a\,\mathrm{ber}'x+b\,\mathrm{bei}'x+c\,\mathrm{ker}'x+d\,\mathrm{kei}'x)$$
$$-\frac{1}{z^2}(b\,\mathrm{ber}x-a\,\mathrm{bei}x+d\,\mathrm{ker}x-c\,\mathrm{kei}x)+\frac{x}{4z^2}(b\,\mathrm{ber}'x-a\,\mathrm{bei}'x+d\,\mathrm{ker}'x-c\,\mathrm{kei}'x)$$
$$\frac{d^3\omega}{dz^3}+\frac{3}{z}\frac{d^2\omega}{dz^2}=-\frac{1}{4}\frac{x}{z^3}(b\,\mathrm{ber}'x-a\,\mathrm{bei}'x+d\,\mathrm{ker}'x-c\,\mathrm{kei}'x)$$
$$-\frac{x^2}{8z^3}(a\,\mathrm{ber}x+b\,\mathrm{bei}x+c\,\mathrm{ker}x+d\,\mathrm{kei}x)$$

但し　　$x=2k\sqrt{2z}$

以上の式を，(15) 式に代入すれば變位，角變位，曲げモーメント M，剪斷力 Q，周邊力 S_r は夫々次の如く與へらる．

$$\omega=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}a^2\left(1-\frac{\mathrm{h}}{z}\right)+\frac{1}{2k\sqrt{2z}}\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})$$
$$+C\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\}\cdots\cdots(23)$$

$$\left.\begin{aligned}
\frac{d\omega}{dz}&=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}\frac{a^2\mathrm{h}}{z^2}-\frac{1}{2k\sqrt{2z}}\frac{1}{z}\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\\
&\quad+C\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\}+\frac{1}{2z}\{B\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})\\
&\quad-A\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{ker}(2k\sqrt{2z})-C\,\mathrm{kei}(2k\sqrt{2z})\}\\
M&=\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\frac{t_u-t_0}{H}\right)^3[-\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u-t_0}2a^2\mathrm{h}+\frac{2z}{2k\sqrt{2z}}\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})\\
&\quad+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})+C\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\}\\
&\quad-z\{B\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})-A\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{ker}(2k\sqrt{2z})\\
&\quad-C\,\mathrm{kei}(2k\sqrt{2z})\}+\frac{2k\sqrt{2z}}{4}z\{B\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})-A\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\\
&\quad+D\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})-C\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\}]\\
Q&=-\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\frac{t_u-t_0}{H}\right)^3[-\frac{2k\sqrt{2z}}{4}\{B\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})-A\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\\
&\quad+D\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})-C\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\}-\frac{(2k\sqrt{2z})^2}{8}\{A\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})\\
&\quad+B\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})+C\,\mathrm{ker}(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{kei}(2k\sqrt{2z})\}]\\
S_r&=\gamma a(z-\mathrm{h})+E\frac{t_u-t_0}{a\cdot H}\frac{z}{2k\sqrt{2z}}\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\\
&\quad+C\,\mathrm{ker}'(2k\sqrt{2z})+D\,\mathrm{kei}'(2k\sqrt{2z})\}
\end{aligned}\right\}\cdots(24)$$

(23) 及 (24) 式に於ける A, B, C, D は何れも積分常數にして，限界條件より決定されるものとす．次に盤體の頂點に於ける厚さ $t_0=0$ なる場合は $\mathrm{h}=0$ 及 ω が有限なることより，$C=0$, $D=0$ となり，(23) 式及 (24) 式は次の如くなる．

$$\left.\begin{aligned}
\omega&=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u}a^2+\frac{1}{2k\sqrt{2z}}\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\}\\
\frac{d\omega}{dz}&=-\frac{1}{2k\sqrt{2z}}\frac{1}{z}\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\}+\frac{1}{2z}\{B\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})\\
&\quad-A\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})\}
\end{aligned}\right\}$$

$$M=\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\frac{t_u}{H}\right)^3\left[\frac{2z}{2k\sqrt{2z}}\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\}-z\{B\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})\right.$$
$$\left.-A\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})\}+\frac{2k\sqrt{2z}}{4}z\{B\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})-A\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\}\right]$$
$$Q=-\frac{E}{12(1-\sigma^2)}\left(\frac{t_u}{H}\right)^3\left[-\frac{2k\sqrt{2z}}{4}\{B\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})-A\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\}\right.$$
$$\left.-\frac{(2k\sqrt{2z})^2}{8}\{A\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2z})\}\right] \quad \cdots(25)$$
$$S_r=\gamma az+E\frac{t_u}{a\cdot H}\frac{z}{2k\sqrt{2z}}\{A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2z})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2z})\}$$

1) 上式の場合に於て壁體の下端に彎曲力率 M_u, 及剪斷力 Q_u が作用する場合　　限界條件は次の如く示さる.

$$z=H;\qquad M=M_u,\qquad Q=Q_u \quad \cdots(26)$$

從つてこの場合の積分常數 A, B を求むる爲めに (26) 式に (25) 式の第二, 及第三式を代入して

$$A\{\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})+\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})-\frac{(2k\sqrt{2H})^2}{8}\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})\}$$
$$+B\{\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})-\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{ber}(2k\sqrt{2H})$$
$$+\frac{(2k\sqrt{2H})^2}{8}\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})\}=\frac{2k\sqrt{2H}}{2H}\frac{12(1-\sigma^2)}{E}\left(\frac{H}{t_u}\right)^3M_u \quad \cdots(27)$$
$$A\{-\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})+\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{ber}(2k\sqrt{2H})\}+B\{\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})$$
$$+\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})\}=\frac{4}{2k\sqrt{2H}}\frac{12(1-\sigma^2)}{E}\left(\frac{H}{t_u}\right)^3Q_u$$

(27) 式の聯立方程式より A 及 B を求むれば

$$A=\frac{1}{K}\frac{12(1-\sigma^2)}{E}\left(\frac{H}{t_u}\right)^3\left[-\frac{2k\sqrt{2H}}{2H}\{\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})+\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})\}M_u\right.$$
$$\left.+\frac{4}{2k\sqrt{2H}}\{\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})-\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{ber}(2k\sqrt{2H})+\frac{(2k\sqrt{2H})^2}{8}\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})\}Q_u\right]$$
$$B=\frac{1}{K}\frac{12(1-\sigma^2)}{E}\left(\frac{H}{t_u}\right)^3\left[\frac{2k\sqrt{2H}}{2H}\{-\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})+\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{ber}(2k\sqrt{2H})\}M_u\right.$$
$$\left.-\frac{4}{2k\sqrt{2H}}\{\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})+\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})-\frac{(2k\sqrt{2H})^2}{8}\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})\}Q_u\right] \quad \cdots(28)$$
$$K=\frac{(2k\sqrt{2H})^3}{16}\{\mathrm{ber}(2k\sqrt{2H})\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})+\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})\}$$
$$-\{\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})+\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})\}^2-\{\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})-\frac{2k\sqrt{2H}}{2}\mathrm{ber}$$
$$(2k\sqrt{2H})\}^2$$

2) 次に壁體の下端に於て固定されてゐる場合　　限界條件は

$$z=H;\qquad \omega=0\qquad \frac{d\omega}{dz}=0 \quad \cdots(29)$$

(29) 式に (25) 式の第一及第二を代入して

$$A\,\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})+B\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})=-2k\sqrt{2H}\cdot\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u}a^2$$

$$B\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2H})-A\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})=-2\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u}a^3$$

上の聯立方程式より，この場合の積分常數 A, B は次の如く示される．

$$\left.\begin{aligned}A&=\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u}a^2\frac{2\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})-2k\sqrt{2H}\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2H})}{\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})\mathrm{ber}(2k\sqrt{2H})+\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})}\\ B&=-\frac{\gamma}{E}\frac{H}{t_u}a^2\frac{2k\sqrt{2H}\,\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})+2\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})}{\mathrm{ber}'(2k\sqrt{2H})\,\mathrm{ber}(2k\sqrt{2H})+\mathrm{bei}(2k\sqrt{2H})\,\mathrm{bei}'(2k\sqrt{2H})}\end{aligned}\right\}\cdots(30)$$

[III] 一樣なる厚さの圓板形の h 周邊の單位表當り p なる水平力が半徑の方向に作用する場合の周邊の水平變位の値

u を半徑 r の方向の變位，σ_r σ_θ を夫々 r に垂直なる面及これに沿へる面に作用する直應力，ε_r, ε_θ を夫々 r 及 θ の方向の歪みとすれば平衡方程式は

$$\left.\begin{aligned}&\frac{d}{dr}(r\sigma_r)-\sigma_\theta=0,\\ &\varepsilon_r=\frac{du}{dr},\qquad \varepsilon_\theta=\frac{u}{r}\end{aligned}\right\}\cdots(31)$$

且つ ε_r 及 ε_θ と σ_r, σ_θ との關係は次式に示さる．

$$\varepsilon_r=\frac{r}{E}(\sigma_r-\sigma\sigma_\theta),\qquad \varepsilon_\theta=\frac{1}{E}(\sigma_\theta-\sigma\sigma_r)$$

$$\therefore\quad \sigma_r=\frac{E}{1-\sigma^2}\left(\frac{du}{dr}+\sigma\frac{u}{r}\right),\qquad \sigma_\theta=\frac{E}{1-\sigma^2}\left(\frac{u}{r}+\sigma\frac{du}{dr}\right)\cdots(32)$$

(32) 式を (31) 式に代入すれば

$$\frac{d^2u}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{du}{dr}-\frac{u}{r^2}=0\cdots(33)$$

(33) 式の一般解は次の如く求めらる．

$$u=Ar+Br^{-1}$$

然るに u は $r=0$ に於て有限なるを以て

$$B=0\qquad\therefore\quad u=Ar\cdots(34)$$

(34) 式を (32) 式に代入すれば

$$\sigma_r=\frac{E}{1-\sigma^2}(A+\sigma A)=\frac{E}{1-\sigma}A,\qquad \sigma_\theta=\frac{E}{1-\sigma^2}(A+\sigma A)=\frac{E}{1-\sigma}A$$

周邊に於て厚さ h の板の單位長當りに p なる力が作用するを以て

$$r=a,\qquad \sigma_r=\frac{p}{\mathrm{h}}$$

$$\therefore\quad \frac{E}{1-\sigma}A=\frac{p}{\mathrm{h}},\qquad A=\frac{1-\sigma}{E}\frac{p}{\mathrm{h}}$$

從つて

$$u=\frac{1-\sigma}{E}\frac{p}{\mathrm{h}}r,$$

$r=a$ に於ける水平變位を d_u とすれば

$$d_u=\frac{1-\sigma}{E}\frac{p}{\mathrm{h}}a\cdots(35)$$

Table of Thomon's Function

x	ber x	bei x	ber′ x	bei x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
0.	+1.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	∞	−0.7853982	−∞	0.0000000
0.02	1.0000000	+0.0001000	−0.0000005	+0.0100000	+4.0280330	0.7848954	−49.9921488	+0.0452799
0.04	1.0000000	0.0004000	0.0000040	0.0200000	3.3351213	0.7836642	24.9843104	0.0766993
0.06	0.9999998	0.0009000	0.0000135	0.0300000	2.9300482	0.7818616	16.6431642	0.1028909
0.08	0.9999994	0.0016000	0.0000320	0.0400000	2.6429141	0.7795710	12.4687086	0.1256915
0.10	0.9999984	0.0025000	0.0000625	0.0500000	2.4204740	0.7768506	9.9609593	0.1459748
0.12	0.9999968	0.0036000	0.0001080	0.0599999	2.2390103	0.7737453	8.2865859	0.1642563
0.14	0.9999940	0.0049000	0.0001715	0.0699999	2.0858713	0.7702914	7.0884508	0.1808773
0.16	0.9999898	0.0064000	0.0002560	0.0799997	1.9535041	0.7665197	6.1879872	0.1960811
0.18	0.9999836	0.0081000	0.0003645	0.0899995	1.8370370	0.7624564	5.4859931	0.2100502
0.20	0.9999750	0.0100000	0.0005000	0.0999992	1.7331427	0.7581249	4.9229485	0.2229268
0.22	0.9999634	0.0120999	0.0006655	0.1099987	1.6394479	0.7535458	4.4609784	0.2348249
0.24	0.9999482	0.0143999	0.0008640	0.1199979	1.5541997	0.7487377	4.0748337	0.2458377
0.26	0.9999286	0.0168999	0.0010985	0.1299969	1.4760667	0.7437177	3.7470346	0.2560437
0.28	0.9999040	0.0195998	0.0017320	0.1399955	1.4040133	0.7385010	3.4650969	0.2655095
0.30	0.9998734	0.0224997	0.0016875	0.1499937	1.3372186	0.7331019	3.2198652	0.2742921
0.32	0.9998362	0.0255995	0.0020480	0.1599913	1.2750202	0.7275331	3.0044741	0.2824415
0.34	0.9997912	0.0288993	0.0024565	0.1699882	1.2168759	0.7218077	2.8136735	0.2900015
0.36	0.9997376	0.0323991	0.0029160	0.1799843	1.1623366	0.7159368	2.6433805	0.2970109
0.38	0.9996742	0.0360987	0.0034294	0.1899794	1.1110256	0.7099311	2.4903720	0.3035047
0.40	0.9996000	0.0399982	0.0039999	0.1999733	1.0626239	0.7038002	2.3520699	0.3095140
0.42	0.9995138	0.0440976	0.0046304	0.2099660	1.0168588	0.6975540	2.2263870	0.3150671
0.44	0.9994144	0.0483969	0.0053238	0.2199571	0.9734957	0.6912006	2.1116160	0.3201900
0.46	0.9993004	0.0528959	0.0060833	0.2299464	0.9323309	0.6847489	2.0063465	0.3249065
0.48	0.9991706	0.0575947	0.0069117	0.2399336	0.8931864	0.6782068	1.9094034	0.3292376
0.50	0.9990235	0.0624932	0.0078121	0.2499186	0.8559058	0.6715817	1.8197997	0.3332038

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
0.52	+0.9988576	+0.0675914	−0.0087874	+0.2599010	+0.8203510	−0.6648807	−1.7367001	+0.3368232
0.54	0.9986714	0.0728892	0.0098417	0.2698804	0.7863992	0.6581107	1.6593933	0.3401136
0.56	0.9984634	0.0783866	0.0109751	0.2798566	0.7539408	0.6512782	1.5872695	0.3430909
0.58	0.9982319	0.0840835	0.0121933	0.2898291	0.7228774	0.6443893	1.5198030	0.3457697
0.60	0.9979751	0.0899798	0.0134985	0.2997975	0.6931207	0.6374495	1.4565386	0.3481644
0.62	0.9976913	0.0960754	0.0148936	0.3097614	0.6645911	0.6304646	1.3970791	0.3502880
0.64	0.9973787	0.1023702	0.0163816	0.3197204	0.6372150	0.6234399	1.3410776	0.3521528
0.66	0.9970354	0.1088641	0.0179655	0.3296739	0.6109268	0.6163801	1.2882288	0.3537709
0.68	0.9966595	0.1155571	0.0196484	0.3396214	0.5856664	0.6092904	1.2382439	0.3551530
0.70	0.9962488	0.1224489	0.0214330	0.3495624	0.5613783	0.6021755	1.1909433	0.3563095
0.72	0.9958014	0.1295395	0.0233226	0.3594962	0.5380125	0.5950395	1.1460911	0.3572507
0.74	0.9953152	0.1368287	0.0253199	0.3694222	0.5155212	0.5878867	1.1034640	0.3579858
0.76	0.9947879	0.1443164	0.0274280	0.3793398	0.4938620	0.5807213	1.0628937	0.3585238
0.78	0.9942173	0.1520023	0.0296500	0.3892482	0.4729947	0.5735471	1.0242294	0.3588733
0.80	0.9936011	0.1598862	0.0319886	0.3991468	0.4528821	0.5663676	0.9873351	0.3590425
0.82	0.9929370	0.1679681	0.0344470	0.4090346	0.4334901	0.5591864	0.9521368	0.3590391
0.84	0.9922224	0.1762475	0.0370280	0.4189111	0.4147864	0.5520070	0.9184875	0.3588705
0.86	0.9914550	0.1847244	0.0397346	0.4287751	0.3967411	0.5448326	0.8862864	0.3585438
0.88	0.9906322	0.1933985	0.0425698	0.4386259	0.3793259	0.5376664	0.8554416	0.3580658
0.90	0.9897514	0.2022694	0.0455366	0.4484625	0.3625148	0.5305111	0.8258687	0.3574432
0.92	0.9888099	0.2113368	0.0486377	0.4582840	0.3462832	0.5233696	0.7974911	0.3566820
0.94	0.9878049	0.2206007	0.0518763	0.4680892	0.3306078	0.5162448	0.7702382	0.3557885
0.96	0.9867339	0.2300603	0.0552552	0.4778771	0.3154667	0.5091389	0.7440446	0.3547683
0.98	0.9855938	0.2397156	0.0587774	0.4876466	0.3008392	0.5020547	0.7188514	0.3536270
1.00	0.9843818	0.2495660	0.0624458	0.4973965	0.2867062	0.4949946	0.6946039	0.3523699
1.02	0.9830950	0.2596113	0.0662632	0.5071256	0.2730493	0.4879608	0.6712515	0.3510023
1.04	0.9817302	0.2698508	0.0702326	0.5168326	0.2598506	0.4809552	0.6487470	0.3495288
1.06	0.9802846	0.2802843	0.0743569	0.5265162	0.2470941	0.4739801	0.6270474	0.3479545

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
1.08	+0.9787549	+0.2909115	−0.0786390	+0.5361750	+0.2347635	−0.4670377	−0.6061126	+0.3462837
1.10	0.9771380	0.3017313	0.0830818	0.5458076	0.2228445	0.4601295	0.5859053	0.3445210
1.12	0.9754306	0.3127435	0.0876881	0.5554125	0.2113226	0.4532575	0.5663908	0.3426707
1.14	0.9736293	0.3239477	0.0924608	0.5649881	0.2001843	0.4464232	0.5475364	0.3407369
1.16	0.9717310	0.3353429	0.0974027	0.5745329	0.1894169	0.4396285	0.5293121	0.3387236
1.18	0.9697321	0.3469287	0.1025167	0.5840453	0.1790080	0.4328749	0.5116899	0.3366347
1.20	0.9676292	0.3587044	0.1078056	0.5935235	0.1689456	0.4261636	0.4946432	0.3344739
1.22	0.9654187	0.3706693	0.1132723	0.6029657	0.1592186	0.4194962	0.4781473	0.3322449
1.24	0.9630971	0.3828228	0.1189195	0.6123702	0.1498162	0.4128741	0.4621790	0.3299508
1.26	0.9606607	0.3951638	0.1247500	0.6217351	0.1407280	0.4062986	0.4467163	0.3275949
1.28	0.9581058	0.4076919	0.1307667	0.6310584	0.1319443	0.3997709	0.4317389	0.3251808
1.30	0.9554287	0.4204060	0.1369722	0.6403381	0.1234554	0.3932918	0.4172274	0.3227118
1.32	0.9526261	0.4333052	0.1433693	0.6495722	0.1152523	0.3868627	0.4031636	0.3201906
1.34	0.9496927	0.4463885	0.1499608	0.6587584	0.1073260	0.3804845	0.3895303	0.3176201
1.36	0.9466259	0.4596552	0.1567493	0.6678947	0.0996684	0.3741583	0.3763112	0.3150033
1.38	0.9434214	0.4731039	0.1637376	0.6769787	0.0922708	0.3678847	0.3634910	0.3123430
1.40	0.9400751	0.4867339	0.1709283	0.6860082	0.0851260	0.3616648	0.3510551	0.3096416
1.42	0.9365829	0.5005438	0.1783242	0.6949807	0.0782262	0.3554994	0.3389898	0.3069021
1.44	0.9329407	0.5145328	0.1859277	0.7038938	0.0715641	0.3493889	0.3272819	0.3041265
1.46	0.9291444	0.5286993	0.1937417	0.7127449	0.0651326	0.3433345	0.3159189	0.3013173
1.48	0.9251896	0.5430420	0.2017686	0.7215314	0.0589251	0.3373364	0.3048894	0.2984773
1.50	0.9210722	0.5575600	0.2100110	0.7302507	0.0529349	0.3313956	0.2941816	0.2956081
1.52	0.9167877	0.5722516	0.2184715	0.7389000	0.0471557	0.3255124	0.2837851	0.2927123
1.54	0.9123319	0.5871154	0.2271527	0.7474765	0.0415817	0.3196874	0.2736896	0.2897920
1.56	0.9077001	0.6021503	0.2360569	0.7559773	0.0362063	0.3139209	0.2638856	0.2868492
1.58	0.9028881	0.6173540	0.2451868	0.7643995	0.0310242	0.3082133	0.2543637	0.2838858
1.60	0.8978911	0.6327257	0.2545446	0.7727399	0.0260299	0.3025655	0.2451147	0.2809038
1.62	0.8927047	0.6482633	0.2641330	0.7809956	0.0212178	0.2969773	0.2361304	0.2779051

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
1.64	+0.8873243	+0.6639649	−0.2739542	+0.7891632	+0.0165830	−0.2914493	−0.2274026	+0.2748914
1.66	0.8817450	0.6798292	0.2840106	0.7972400	0.0121200	0.2859817	0.2189236	0.2718644
1.68	0.8759623	0.6958539	0.2943045	0.8052213	0.0078245	0.2805748	0.2106856	0.2688257
1.70	0.8699712	0.7120373	0.3048382	0.8131050	0.0036911	0.2752288	0.2026818	0.2657772
1.72	0.8637671	0.7283773	0.3156140	0.8208871	−0.0002844	0.2699440	0.1949053	0.2627203
1.74	0.8573451	0.7448721	0.3266342	0.8285640	0.0041065	0.2647202	0.1873493	0.2596564
1.76	0.8507001	0.7615192	0.3379008	0.8361322	0.0077797	0.2595578	0.1800075	0.2565873
1.78	0.8438274	0.7783165	0.3494161	0.8435877	0.0113083	0.2544566	0.1728739	0.2535141
1.80	0.8367218	0.7952620	0.3611821	0.8509270	0.0146961	0.2494171	0.1659424	0.2504385
1.82	0.8293784	0.8123530	0.3732010	0.8581458	0.0179474	0.2444390	0.1592076	0.2473615
1.84	0.8217921	0.8295870	0.3854747	0.8652404	0.0210657	0.2395224	0.1526639	0.2442846
1.86	0.8139577	0.8469616	0.3980052	0.8722066	0.0240552	0.2346677	0.1463062	0.2412088
1.88	0.8058701	0.8644744	0.4107945	0.8790402	0.0269191	0.2298742	0.1401292	0.2381355
1.90	0.7975242	0.8821223	0.4238445	0.8857370	0.0296614	0.2251422	0.1341282	0.2350657
1.92	0.7889146	0.8999029	0.4371570	0.8922926	0.0322853	0.2204716	0.1282984	0.2320004
1.94	0.7800361	0.9178129	0.4507338	0.8987026	0.0347944	0.2158622	0.1226351	0.2289413
1.96	0.7708835	0.9358499	0.4645766	0.9049626	0.0371918	0.2113139	0.1171338	0.2258885
1.98	0.7614513	0.9540105	0.4786872	0.9110678	0.0394808	0.2068266	0.1117905	0.2228439
2.00	0.7517342	0.9722916	0.4930671	0.9170136	0.0416645	0.2024001	0.1066010	0.2198079
2.02	0.7417268	0.9906900	0.5077180	0.9227953	0.0437458	0.1980341	0.1015612	0.2167816
2.04	0.7314237	1.0092023	0.5226414	0.9284079	0.0457280	0.1937286	0.0966671	0.2137657
2.06	0.7208193	1.0278252	0.5378387	0.9338465	0.0476135	0.1894833	0.0919153	0.2107613
2.08	0.7099083	1.0465549	0.5533114	0.9391060	0.0494056	0.1852982	0.0873020	0.2077689
2.10	0.6986850	1.0653882	0.5690608	0.9441813	0.0511065	0.1811726	0.0828234	0.2047897
2.12	0.6871440	1.0843210	0.5850881	0.9490673	0.0527193	0.1771064	0.0784764	0.2018241
2.14	0.6752796	1.1033495	0.6013946	0.9537584	0.0542463	0.1730994	0.0742575	0.1988732
2.16	0.6630863	1.1224700	0.6179814	0.9582493	0.0556904	0.1691515	0.0701634	0.1959372
2.18	0.6505585	1.1416781	0.6348496	0.9625346	0.0570536	0.1652619	0.0661910	0.1930172

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
2.20	+0.6376905	+1.1609699	−0.6520002	+0.9666086	−0.0583388	−0.1614307	−0.0623373	+0.1901137
2.22	0.6244766	1.1803410	0.6694342	0.9704656	0.0595480	0.1576573	0.0585993	0.1872272
2.24	0.6109112	1.1997868	0.6871523	0.9740999	0.0606836	0.1539415	0.0549741	0.1843584
2.26	0.5969886	1.2193034	0.7051553	0.9775055	0.0617478	0.1502829	0.0514591	0.1815079
2.28	0.5827031	1.2388857	0.7234440	0.9806764	0.0627427	0.1466810	0.0480512	0.1786763
2.30	0.5680489	1.2585290	0.7420190	0.9836067	0.0636705	0.1431357	0.0447479	0.1758638
2.32	0.5530204	1.2782284	0.7608807	0.9862901	0.0645333	0.1396464	0.0415468	0.1730711
2.34	0.5376118	1.2979789	0.7800296	0.9887204	0.0653329	0.1362126	0.0384451	0.1702986
2.36	0.5218173	1.3177755	0.7994661	0.9908913	0.0660717	0.1328342	0.0354402	0.1675469
2.38	0.5056314	1.3376128	0.8191904	0.9927962	0.0667512	0.1295107	0.0325302	0.1648162
2.40	0.4890478	1.3574855	0.8392027	0.9944286	0.0673735	0.1262415	0.0297123	0.1621069
2.42	0.4720612	1.3773881	0.8595031	0.9957820	0.0679404	0.1230262	0.0269844	0.1594195
2.44	0.4546657	1.3973149	0.8800916	0.9968496	0.0684535	0.1198645	0.0243445	0.1567543
2.46	0.4368556	1.4172601	0.9009679	0.9976246	0.0689148	0.1167559	0.0217901	0.1541117
2.48	0.4186251	1.4372179	0.9221320	0.9981000	0.0693256	0.1136999	0.0193192	0.1514920
2.50	0.3999684	1.4571820	0.9435834	0.9982689	0.0696880	0.1106961	0.0169298	0.1488954
2.52	0.3808798	1.4771465	0.9653218	0.9981241	0.0700033	0.1077439	0.0146198	0.1463222
2.54	0.3613536	1.4971048	0.9873465	0.9976584	0.0702733	0.1048430	0.0123874	0.1437728
2.56	0.3413841	1.5170506	1.0096570	0.9968646	0.0704993	0.1019928	0.0102303	0.1412472
2.58	0.3209655	1.5369772	1.0322524	0.9957353	0.0706830	0.0991929	0.0081472	0.1387458
2.60	0.3000921	1.5568778	1.0551318	0.9942629	0.0708257	0.0964429	0.0061358	0.1362689
2.62	0.2787583	1.5767454	1.0782943	0.9924401	0.0709289	0.0937420	0.0041945	0.1338164
2.64	0.2569585	1.5965730	1.1017387	0.9902590	0.0709940	0.0910900	0.0023216	0.1313888
2.66	0.2346869	1.6163534	1.1254638	0.9877119	0.0710221	0.0884863	−0.0005152	0.1289859
2.68	0.2119380	1.6360790	1.1494681	0.9847910	0.0710149	0.0859305	+0.0012261	0.1266082
2.70	0.1887063	1.6557424	1.1737502	0.9814884	0.0709736	0.0834219	0.0029043	0.1242558
2.72	0.1649862	1.6753359	1.1983083	0.9777960	0.0708991	0.0809601	0.0045207	0.1219285
2.74	0.1407721	1.6948516	1.2231408	0.9737058	0.0707933	0.0785446	0.0060767	0.1196268

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
2.76	+0.1160587	+1.7142814	−1.2482457	+0.9692095	−0.0706564	−0.0761749	+0.0075741	+0.1173505
2.78	0.0908405	1.7336172	1.2736208	0.9642988	0.0704906	0.0738503	0.0090145	0.1150998
2.80	0.0651121	1.7528506	1.2992641	0.9589655	0.0702963	0.0715707	0.0103990	0.1128748
2.82	0.0388682	1.7719730	1.3251731	0.9532010	0.0700749	0.0693353	0.0117291	0.1106755
2.84	+0.0121034	1.7909757	1.3513454	0.9469968	0.0698274	0.0671435	0.0130065	0.1085019
2.86	−0.0151874	1.8098499	1.3777782	0.9403442	0.0695550	0.0649950	0.0142321	0.1063541
2.88	0.0430094	1.8285864	1.4044688	0.9332347	0.0692585	0.0628891	0.0154078	0.1042323
2.90	0.0713678	1.8471761	1.4314141	0.9256593	0.0689390	0.0608255	0.0165342	0.1021362
2.92	0.1002677	1.8656095	1.4586111	0.9176093	0.0685974	0.0588035	0.0176131	0.1000659
2.94	0.1297139	1.8838773	1.4860564	0.9090756	0.0682347	0.0568226	0.0186454	0.0980216
2.96	0.1597116	1.9019693	1.5137466	0.9000493	0.0678519	0.0548824	0.0196327	0.0960028
2.98	0.1902654	1.9198759	1.5416779	0.8905213	0.0674498	0.0529824	0.0205759	0.0940101
3.00	0.2213802	1.9375868	1.5698466	0.8804823	0.0670292	0.0511219	0.0214762	0.0920431
3.02	0.2530608	1.9550918	1.5982487	0.8699230	0.0665911	0.0493005	0.0223347	0.0901017
3.04	0.2853117	1.9723802	1.6268800	0.8588346	0.0661361	0.0475177	0.0231527	0.0881860
3.06	0.3181375	1.9894415	1.6557361	0.8472071	0.0656652	0.0457730	0.0239312	0.0862959
3.08	0.3515426	2.0062648	1.6848125	0.8350313	0.0651791	0.0440657	0.0246712	0.0844314
3.10	0.3855315	2.0228390	1.7141044	0.8222977	0.0646786	0.0423955	0.0253738	0.0825922
3.12	0.4201082	2.0391529	1.7436069	0.8089966	0.0641642	0.0407619	0.0260399	0.0807784
3.14	0.4552771	2.0551950	1.7733149	0.7951184	0.0636372	0.0391641	0.0266708	0.0789899
3.16	0.4910421	2.0709538	1.8032229	0.7806534	0.0630977	0.0376020	0.0272671	0.0772267
3.18	0.5274073	2.0864172	1.8333255	0.7655918	0.0625468	0.0360749	0.0278299	0.0754884
3.20	0.5643764	2.1015734	1.8636170	0.7499237	0.0619848	0.0345823	0.0283603	0.0737752
3.22	0.6019523	2.1164100	1.8940912	0.7336393	0.0614125	0.0331237	0.0288589	0.0720868
3.24	0.6401413	2.1309149	1.9247422	0.7167287	0.0608306	0.0316987	0.0293269	0.0704233
3.26	0.6789440	2.1450749	1.9555634	0.6991818	0.0602397	0.0303066	0.0297652	0.0687842
3.28	0.7183649	2.1588778	1.9865483	0.6809887	0.0596403	0.0289472	0.0301744	0.0671696
3.30	0.7584070	2.1723101	2.0176900	0.6621391	0.0590329	0.0276197	0.0305554	0.0655794

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
3.32	−0.7990735	+2.1853589	−2.0489815	+0.6426231	−0.0584182	−0.0263237	+0.0309091	+0.0640133
3.34	0.8403672	2.1980105	2.0804154	0.6224304	0.0577967	0.0250589	0.0312362	0.0624714
3.36	0.8822910	2.2102516	2.1119842	0.6015507	0.0571690	0.0238248	0.0315376	0.0609531
3.38	0.9248474	2.2220679	2.1436801	0.5799740	0.0565354	0.0226208	0.0318141	0.0594589
3.40	0.9680390	2.2334458	2.1754952	0.5576898	0.0558966	0.0214463	0.0320662	0.0579881
3.42	1.0118680	2.2443707	2.2074211	0.5346879	0.0552528	0.0203011	0.0322949	0.0565408
3.44	1.0563365	2.2548285	2.2394493	0.5109580	0.0546050	0.0191845	0.0325007	0.0551167
3.46	1.1014466	2.2648042	2.2715712	0.4864896	0.0539530	0.0180962	0.0326845	0.0537157
3.48	1.1471999	2.2742830	2.3037775	0.4612725	0.0532977	0.0170357	0.0328468	0.0523374
3.50	1.1935982	2.2832500	2.3360591	0.4352962	0.0526393	0.0160026	0.0329886	0.0509821
3.52	1.2406428	2.2916898	2.3684065	0.4085503	0.0519784	0.0149963	0.0331103	0.0496492
3.54	1.2883348	2.2995870	2.4008097	0.3810244	0.0513150	0.0140164	0.0332125	0.0483386
3.56	1.3366754	2.3069255	2.4332587	0.3527081	0.0506500	0.0130625	0.0332959	0.0470503
3.58	1.3856654	2.3136899	2.4657432	0.3235909	0.0499833	0.0121343	0.0333612	0.0457839
3.60	1.4353053	2.3198637	2.4982525	0.2936624	0.0493156	0.0112311	0.0334087	0.0445394
3.62	1.4855956	2.3254308	2.5307757	0.2629123	0.0486470	0.0103525	0.0334394	0.0433164
3.64	1.5365364	2.3303745	2.5633016	0.2313300	0.0479780	0.0094983	0.0334535	0.0421148
3.66	1.5881276	2.3346783	2.5958187	0.1989053	0.0473090	0.0086679	0.0334518	0.0409344
3.68	1.6403690	2.3383251	2.6283152	0.1656276	0.0466401	0.0078607	0.0334348	0.0397750
3.70	1.6932600	2.3412977	2.6607790	0.1314868	0.0459717	0.0070767	0.0334030	0.0386364
3.72	1.7467998	2.3435789	2.6931977	0.0964723	0.0453041	0.0063152	0.0333570	0.0375183
3.74	1.8009875	2.3451508	2.7255587	0.0605740	0.0446376	0.0055759	0.0332971	0.0364206
3.76	1.8558217	2.3459958	2.7578490	+0.0237816	0.0439723	0.0048583	0.0332241	0.0353433
3.78	1.9113009	2.3460959	2.7900552	−0.0139153	0.0433087	0.0041620	0.0331382	0.0342857
3.80	1.9674233	2.3454331	2.8221639	0.0525266	0.0426469	0.0034867	0.0330400	0.0332480
3.82	2.0241867	2.3439888	2.8541609	0.0920627	0.0419872	0.0028320	0.0329300	0.0322298
3.84	2.0815889	2.3417442	2.8860321	0.1325334	0.0413298	0.0021974	0.0328086	0.0312310
3.86	2.1396271	2.3386811	2.9177629	0.1739490	0.0406749	0.0015826	0.0326762	0.0302513

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei′ x	ker′ x	kei′ x
3.88	−2.1982983	+2.3347800	−2.9493384	−0.2163193	−0.0400228	−0.0009872	+0.0325334	+0 0292904
3.90	2.2575995	2.3300219	2.9807434	0.2596541	0.0393736	−0.0004108	0.0323805	0.0283483
3.92	2.3175269	2.3243875	3.0119623	0.3039634	0.0387276	+0.0001469	0.0322179	0.0274247
3.94	2.3780766	2.3178568	3.0429793	0.3492567	0.0380850	0.0006863	0.0320460	0.0265193
3.96	2.4392446	2.3104105	3.0737780	0.3955439	0.0374458	0.0012078	0.0318652	0.0256320
3.98	2.5010262	2.3020284	3.1043418	0.4428343	0.0368104	0.0017117	0.0316759	0.0247625
4.00	2.5634166	2.2926903	3.1346540	0.4911374	0.0361789	0.0021984	0.0314785	0.0239106
4.02	2.6264105	2.2823760	3.1646971	0.5404627	0.0355513	0.0026682	0.0312733	0.0230762
4.04	2.6900025	2.2710649	3.1944535	0.5908192	0.0349280	0.0031216	0.0310607	0.0222589
4.06	2.7541866	2.2587364	3.2239054	0.6422161	0.0343089	0.0035587	0.0308410	0.0214586
4.08	2.8189566	2.2453693	3.2530342	0.6946624	0.0336944	0.0039800	0.0306146	0.0206750
4.10	2.8843057	2.2309428	3.2818214	0.7481669	0.0330844	0.0043858	0.0303818	0.0199080
4.12	2.9502271	2.1988261	3.3102477	0.8027383	0.0324792	0·0047765	0.0301429	0.0191574
4.14	3.0167131	2.2154354	3.3382939	0.8583852	0.0318787	0.0051522	0.0298982	0.0184228
4.16	3.0837561	2.1810928	3.3659401	0.9151160	0.0312833	0.0055135	0.0296480	0.0177042
4.18	3.1513479	2.1622143	3.3931660	0.9729390	0.0306928	0.0058605	0.0293927	0.0170012
4.20	3.2194798	2.1421680	3.4199512	1.0318622	0.0301076	0.0061936	0.0291324	0.0163137
4.22	3.2881429	2.1209323	3.4462747	1.0918935	0.0295276	0.0065131	0.0288676	0.0156414
4.24	3.3573276	2.0984847	3.4721152	1.1530407	0.0289529	0.0068194	0.0285984	0.0149842
4.26	3.4270241	2.0748030	3.4974510	1.2153114	0.0283837	0.0071126	0.0283251	0.0143419
4.28	3.4972221	2.0498649	3.5222600	1.2787127	0.0278199	0.0073932	0.0280480	0.0137142
4.30	3.5679109	2.0236471	3.5465197	1.3432520	0.0272618	0.0076613	0.0277673	0.0131008
4.32	3.6390791	1.9961270	3.5702073	1.4089361	0.0267093	0.0079173	0.0274833	0.0125017
4.34	3.7107152	1.9672819	3.5932995	1.4757717	0.0261625	0.0081614	0.0271962	0.0119166
4.36	3.7828070	1.9370885	3.6157727	1.5437652	0.0256214	0.0083940	0.0269063	0.0113453
4.38	3.8553418	1.9055236	3.6376028	1.6129230	0.0250862	0.0086153	0.0266137	0.0107876
4.40	3.9283066	1.8725638	3.6587653	1.6832510	0.0245569	0.0088256	0.0263187	0.0102433
4.42	4.0016878	1.8381856	3.6792355	1.7547548	0.0240335	0.0090252	0.0260215	0.0097122

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
4.44	−4.0754713	+1.8023658	−3.6989880	−1.8274401	−0.0235161	+0.0092142	+0.0257222	+0.0091940
4.46	4.1496424	1.7650802	3.7179973	1.9013120	0.0230046	0.0093930	0.0254212	0.0086886
4.48	4.2241860	1.7263053	3.7362372	1.9763753	0.0224992	0.0095618	0.0251186	0.0081958
4.50	4.2990866	1.6860172	3.7536813	2.0526347	0.0219999	0.0097209	0.0248145	0.0077154
4.52	4.3743278	1.6441919	3.7703028	2.1300945	0.0215067	0.0098705	0.0245093	0.0072472
4.54	4.4498930	1.6008054	3.7860743	2.2087587	0.0210195	0.0100109	0.0242029	0.0067910
4.56	4.5257649	1.5558335	3.8009682	2.2886309	0.0205385	0.0101422	0.0238955	0.0063465
4.58	4.6019257	1.5092521	3.8149564	2.3697146	0.0200637	0.0102648	0.0235876	0.0059137
4.60	4.6783569	1.4610368	3.8280104	2.4520127	0.0195950	0.0103789	0.0232791	0.0054923
4.62	4.7550397	1.4111634	3.8401011	2.5355279	0.0191325	0.0104846	0.0229701	0.0050821
4.64	4.8319544	1.3596075	3.8511994	2.6202624	0.0186762	0.0105822	0.0226609	0.0046829
4.66	4.9090808	1.3063447	3.8612755	2.7062181	0.0182261	0.0106720	0.0223515	0.0042946
4.68	4.9863984	1.2513506	3.8702991	2.7933967	0.0177822	0.0107541	0.0220422	0.0039169
4.70	5.0638856	1.1946008	3.8782397	2.8817992	0.0173444	0.0108287	0.0217330	0.0035498
4.72	5.1415205	1.1360706	3.8850664	2.9714264	0.0169129	0.0108961	0.0214241	0.0031929
4.74	5.2192806	1.0757356	3.8907477	3.0622785	0.0164875	0.0109565	0.0211156	0.0028461
4.76	5.2971426	1.0135712	3.8952519	3.1543555	0.0160682	0.0110101	0.0208077	0.0025093
4.78	5.3750826	0.9495532	3.8985466	3.2476567	0.0156551	0.0110569	0.0205004	0.0021823
4.80	5.4530762	0.8836569	3.9005992	3.3421813	0.0152482	0.0110974	0.0201939	0.0018648
4.82	5.5310981	0.8158578	3.9013768	3.4379277	0.0148474	0.0111316	0.0198883	0.0015567
4.84	5.6091225	0.7461317	3.9008457	3.5348940	0.0144526	0.0111597	0.0195836	0.0012579
4.86	5.6871230	0.6744540	3.8989723	3.6330777	0.0140640	0.0111820	0.0192801	0.0009682
4.88	5.7650722	0.6008005	3.8957221	3.7324760	0.0136814	0.0111985	0.0189777	0.0006873
4.90	5.8429424	0.5251468	3.8910605	3.8330853	0.0133049	0.0112095	0.0186766	0.0004152
4.92	5.9207050	0.4474689	3.8849524	3.9349018	0.0129344	0.0112152	0.0183769	+0.0001517
4.94	5.9983307	0.3677426	3.8773624	4.0379208	0.0125698	0.0112157	0.0180786	−0.0001035
4.96	6.0757894	0.2859441	3.8682545	4.1421375	0.0122112	0.0112111	0.0177819	0.0003503
4.98	6.1530505	0.2020493	3.8575924	4.2475461	0.0118585	0.0112017	0.0174868	0.0005891

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
5.00	−6.2300825	+0.1160344	−3.8453395	−4.3541405	−0.0115117	+0.0111876	+0.0171934	−0.0008200
5.02	6.3068536	+0.0278758	3.8314586	4.4619139	0.0111708	0.0111689	0.0169018	0.0010431
5.04	6.3833297	−0.0624499	3.8159124	4.5708590	0.0108356	0.0111459	0.0166120	0.0012586
5.06	6.4594784	0.1549663	3.7986629	4.6809677	0.0105063	0.0111187	0.0163241	0.0014666
5.08	6.5352646	0.2496964	3.7796720	4.7922314	0.0101827	0.0110873	0.0160382	0.0016673
5.10	6.6106534	0.3466632	3.7589009	4.9046410	0.0098647	0.0110520	0.0157544	0.0018608
5.12	6.6856086	0.4458895	3.7363108	5.0181864	0.0095525	0.0110129	0.0154726	0.0020473
5.14	6.7600934	0.5473981	3.7118622	5.1328571	0.0092458	0.0109702	0.0151930	0.0022269
5.16	6.8340704	0.6512113	3.6855155	5.2486419	0.0089447	0.0109239	0.0149156	0.0023999
5.18	6.9075011	0.7573512	3.6572305	5.3655287	0.0086492	0.0108742	0.0146404	0.0025662
5.20	6.9803464	0.8658397	3.6269668	5.4835049	0.0083591	0.0108213	0.0143676	0.0027261
5.22	7.0525663	0.9766985	3.5946835	5.6025571	0.0080745	0.0107652	0.0140971	0.0028796
5.24	7.1241200	1.0899491	3.5603396	5.7226713	0.0077952	0.0107061	0.0138290	0.0030270
5.26	7.1949659	1.2056125	3.5238935	5.8438323	0.0075213	0.0106442	0.0135633	0.0031684
5.28	7.2650615	1.3237091	3.4853034	5.9660247	0.0072527	0.0105794	0.0133001	0.0033038
5.30	7.3343634	1.4442602	3.4445272	6.0892320	0.0069893	0.0105121	0.0130394	0.0034335
5.32	7.4028277	1.5672852	3.4015224	6.2134369	0.0067311	0.0104422	0.0127812	0.0035575
5.34	7.4704092	1.6928042	3.3562461	6.3386214	0.0064780	0.0103698	0.0125256	0.0036760
5.36	7.5370621	1.8208366	3.3086554	6.4647665	0.0062300	0.0102951	0.0122726	0.0037891
5.38	7.6027397	1.9514011	3.2587067	6.5918526	0.0059871	0.0102183	0.0120222	0.0038970
5.40	7.6673944	2.0845167	3.2063564	6.7198591	0.0057491	0.0101393	0.0117745	0.0039997
5.42	7.7309776	2.2202015	3.1515605	6.8487644	0.0055161	0.0100583	0.0115294	0.0040974
5.44	7.7934402	2.3584729	3.0942748	6.9785462	0.0052879	0.0099754	0.0112871	0.0041901
5.46	7.8547317	2.4993489	3.0344547	7.1091812	0.0050646	0.0098907	0.0110474	0.0042781
5.48	7.9148012	2.6428459	2.9720554	7.2406453	0.0048460	0.0098043	0.0108105	0.0043614
5.50	7.9735965	2.7889802	2.9070320	7.3729133	0.0046322	0.0097163	0.0105763	0.0044402
5.52	8.0310646	2.9377676	2.8393390	7.5059591	0.0044230	0.0096268	0.0103449	0.0045144
5.54	8.0871519	3.0892236	2.7689311	7.6397557	0.0042183	0.0095358	0.0101163	0.0045844

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
5.56	−8.1418035	−3.2433627	−2.6957626	−7.7742750	−0.0040183	+0.0094434	+0.0098905	−0.0046501
5.58	8.1949637	3.4001992	2.6197873	7.9094880	0.0038227	0.0093498	0.0096674	0.0047117
5.60	8.2465760	3.5597466	2.5409593	8.0453646	0.0036316	0.0092550	0.0094472	0.0047693
5.62	8.2965828	3.7220180	2.4592323	8.1818736	0.0034448	0.0091590	0.0092297	0.0048229
5.64	8.3449256	3.8870255	2.3745597	8.3189830	0.0032624	0.0090621	0.0090151	0.0048728
5.66	8.3915452	4.0547810	2.2868948	8.4566595	0.0030842	0.0089642	0.0088033	0.0049189
5.68	8.4363812	4.2252955	2.1961910	8.5948688	0.0029102	0.0088654	0.0085943	0.0049614
5.70	8.4793723	4.3985791	2.1024012	8.7335755	0.0027404	0.0087657	0.0083882	0.0050004
5.72	8.5204563	4.5746416	2.0054784	8.8727431	0.0025747	0.0086653	0.0081849	0.0050360
5.74	8.5595698	4.7534916	1.9053755	9.0123339	0.0024130	0.0085643	0.0079843	0.0050682
5.76	8.5966498	4.9351374	1.8020451	9.1523091	0.0022553	0.0084626	0.0077866	0.0050972
5.78	8.6316302	5.1195864	1.6954400	9.2926287	0.0021015	0.0083604	0.0075918	0.0051231
5.80	8.6644453	5.3068446	1.5855127	9.4332515	0.0019516	0.0082577	0.0073997	0.0051458
5.82	8.6950282	5.4969180	1.4722158	9.5741353	0.0018055	0.0081546	0.0072104	0.0051657
5.84	8.7233111	5.6898114	1.3555018	9.7152363	0.0016631	0.0080511	0.0070239	0.0051826
5.86	8.7492252	5.8855285	1.2353233	9.8565099	0.0015245	0.0079473	0.0068402	0.0051967
5.88	8.7727006	6.0840726	1.1116326	9.9979099	0.0013895	0.0078433	0.0066593	0.0052081
5.90	8.7936668	6.2854456	0.9843824	10.139389	0.0012581	0.0077390	0.0064812	0.0052169
5.92	8.8120519	6.4896485	0.8535234	10.280899	0.0011302	0.0076346	0.0063058	0.0052231
5.94	8.8277834	6.6966814	0.7190136	10.422389	0.0010059	0.0075301	0.0061332	0.0052268
5.96	8.8407877	6.9065437	0.5808003	10.563808	0.0008849	0.0074256	0.0059633	0.0052282
5.98	8.8509904	7.1192328	0.4388382	10.705104	0.0007673	0.0073210	0.0057962	0.0052272
6.00	8.8583160	7.3347465	0.2930800	10.846224	0.0006530	0.0072165	0.0056317	0.0052239
6.02	8.8626880	7.5530803	−0.1434788	10.987110	0.0005420	0.0071121	0.0054700	0.0052185
6.04	8.8640292	7.7742290	+0.0100122	11.127708	0.0004342	0.0070078	0.0053109	0.0052110
6.06	8.8622613	7.9981864	0.1674396	11.267958	0.0003296	0.0069037	0.0051545	0.0052014
6.08	8.8573050	8.2249446	0.3288499	11.407802	0.0002280	0.0067997	0.0050007	0.0051898
6.10	9.8490804	8.4544953	0.4942892	11.547179	0.0001295	0.0066961	0.0048496	0.0051764

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
6.12	−8.8375063	−8.6868283	+0.6638037	−11.686025	−0.0000340	+0.0065927	+0.0047011	−0.0051611
6.14	8.8225008	8.9219321	0.8374390	11.824278	+0.0000585	0.0064896	0.0045551	0.0051440
6.16	8.8039810	9.1597951	1.0152405	11.961872	0.0001482	0.0063869	0.0044118	0.0051253
6.18	8.7818631	9.4004023	1.1972533	12.098741	0.0002350	0.0062846	0.0042710	0.0051048
6.20	8.7560625	9.6437393	1.3835222	12.234815	0.0003191	0.0061828	0.0041328	0.0050828
6.22	8.7264935	9.8897892	1.5740916	12.370026	0.0004003	0.0060813	0.0039970	0.0050593
6.24	8.6930699	10.138534	1.7690056	12.504301	0.0004790	0.0059804	0.0038638	0.0050343
6.26	8.6557041	10.389955	1.9683077	12.637568	0.0005549	0.0058800	0.0037330	0.0050079
6.28	8.6143080	10.644030	2.1720411	12.769753	0.0006283	0.0057801	0.0036047	0.0049801
6.30	8.5687926	10.900737	2.3802484	12.900779	0.0006991	0.0056808	0.0034789	0.0049511
6.32	8.5190680	11.160053	2.5929718	13.030569	0.0007675	0.0055820	0.0033554	0.0049207
6.34	8.4650433	11.421951	2.8102530	13.159043	0.0008333	0.0054839	0.0032343	0.0048892
6.36	8.4066272	11.686405	3.0321331	13.286121	0.0008968	0.0053865	0.0031156	0.0048566
6.38	8.3437275	11.953386	3.2586526	13.411720	0.0009580	0.0052897	0.0029993	0.0048228
6.40	8.2762499	12.222863	3.4898513	13.535756	0.0010168	0.0051936	0.0028852	0.0047880
6.42	8.2041016	12.494805	3.7257685	13.658143	0.0010734	0.0050982	0.0027735	0.0047522
6.44	8.1271874	12.769177	3.9664428	13.778793	0.0011278	0.0050035	0.0026640	0.0047155
6.46	8.0454118	13.045944	4.2119118	13.897618	0.0011800	0.0049096	0.0025568	0.0046779
6.48	7.9586787	13.325069	4.4622128	14.014526	0.0012301	0.0048164	0.0024518	0.0046394
6.50	7.8668909	13.606512	4.7173820	14.129425	0.0012781	0.0047240	0.0023490	0.0046000
6.52	7.7699508	13.890232	4.9774549	14.242220	0.0013241	0.0046324	0.0022484	0.0045599
6.54	7.6677598	14.176186	5.2424662	14.352815	0.0013680	0.0045416	0.0021499	0.0045191
6.56	7.5602190	14.464329	5.5124495	14.461113	0.0014101	0.0044516	0.0020535	0.0044776
6.58	7.4472285	14.754615	5.7874376	14.567014	0.0014502	0.0043625	0.0019593	0.0044354
6.60	7.3286879	15.046993	6.0674625	14.670415	0.0014884	0.0042742	0.0018671	0.0043926
6.62	7.2044962	15.341414	6.3525549	14.771215	0.0015249	0.0041868	0.0017770	0.0043493
6.64	7.0745517	15.637823	6.6427448	14.869308	0.0015595	0.0041003	0.0016889	0.0043054
6.66	6.9387522	15.936167	6.9380608	14.964588	0.0015925	0.0040146	0.0016028	0.0042610

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
6.68	−6.7969949	−16.236387	+7.2385304	−15.056945	+0.0016237	+0.0039298	+0.0015187	−0.0042161
6.70	6.6491765	16.538425	7.5441804	15.146270	0.0016532	0.0038459	0.0014365	0.0041708
6.72	6.4951930	16.842217	7.8550358	15.232449	0.0016811	0.0037630	0.0013563	0.0041251
6.74	6.3349402	17.147701	8.1711207	15.315370	0.0017075	0.0036809	0.0012779	0.0040790
6.76	6.1683132	17.454809	8.4924579	15.394916	0.0017323	0.0035998	0.0012014	0.0040326
6.78	5.9952067	17.763474	8.8190687	15.470970	0.0017555	0.0035196	0.0011268	0.0039859
6.80	5.8155151	18.073624	9.1509734	15.543411	0.0017774	0.0034404	0.0010540	0.0039388
6.82	5.6291323	18.385185	9.4881904	15.612119	0.0017977	0.0033621	0.0009830	0.0038916
6.84	5.4359520	18.698082	9.8307370	15.676969	0.0018167	0.0032847	0.0009137	0.0038441
6.86	5.2358672	19.012237	10.178629	15.737838	0.0018343	0.0032083	0.0008462	0.0037965
6.88	5.0287711	19.327568	10.531880	15.794597	0.0018505	0.0031329	0.0007805	0.0037486
6.90	4.8145562	19.643992	10.890504	15.847117	0.0018655	0.0030584	0.0007164	0.0037007
6.92	4.5931150	19.961423	11.254510	15.895229	0.0018792	0.0029849	0.0006540	0.0036526
6.94	4.3643399	20.279773	11.623909	15.938919	0.0018917	0.0029123	0.0005932	0.0036044
6.96	4.1281227	20.598949	11.998707	15.977932	0.0019030	0.0028407	0.0005341	0.0035561
6.98	3.8843556	20.918858	12.378910	16.012172	0.0019131	0.0027700	0.0004765	0.0035078
7.00	3.6329302	21.239403	12.764523	16.041501	0.0019220	0.0027004	0.0004205	0.0034595
7.02	3.3737386	21.560484	13.155546	16.065778	0.0019299	0.0026317	0.0003661	0.0034112
7.04	3.1066723	21.881999	13.551981	16.084862	0.0019367	0.0025639	0.0003131	0.0033629
7.06	2.8316233	22.203842	13.953825	16.098608	0.0019424	0.0024971	0.0002617	0.0033146
7.08	2.5484833	22.525906	14.361075	16.106870	0.0019472	0.0024313	0.0002118	0.0032664
7.10	2.2571443	22.848079	14.773723	16.109500	0.0019509	0.0023665	0.0001633	0.0032183
7.12	1.9574984	23.170247	15.191762	16.106350	0.0019537	0.0023026	0.0001162	0.0031703
7.14	1.6494379	23.492292	15.615182	16.097267	0.0019556	0.0022397	0.0000705	0.0031223
7.16	1.3328553	23.814096	16.043970	16.082098	0.0019565	0.0021777	+0.0000262	0.0030745
7.18	1.0076434	24.135534	16.478109	16.060688	0.0019566	0.0021167	−0.0000168	0.0030269
7.20	0.6736954	24.456480	16.917585	16.032880	0.0019559	0.0020566	0.0000584	0.0029794
7.22	0.3309046	24.776804	17.362375	15.998515	0.0019543	0.0019975	0.0000987	0.0029321

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
7.24	+0.0208349	−25.096375	+17.812458	−15.957432	+0.0019519	+0.0019393	−0.0001377	−0.0028850
7.26	0.3816288	25.415055	18.267810	15.909468	0.0019488	0.0018821	0.0001755	0.0028381
7.28	0.7515823	25.732705	18.728402	15.854460	0.0019449	0.0018258	0.0002121	0.0027914
7.30	1.1307997	26.049184	19.194204	15.792242	0.0019403	0.0017705	0.0002474	0.0027450
7.32	1.5193849	26.364344	19.665184	15.722644	0.0019350	0.0017160	0.0002815	0.0026988
7.34	1.9174413	26.678038	20.141306	15.645498	0.0019291	0.0016625	0.0003145	0.0026528
7.36	2.3250712	26.990111	20.622530	15.560633	0.0019224	0.0016099	0.0003463	0.0026072
7.38	2.7423763	27.300409	21.108817	15.467875	0.0019152	0.0015582	0.0003770	0.0025618
7.40	3.1694573	27.608771	21.600121	15.367049	0.0019074	0.0015074	0.0004066	0.0025167
7.42	3.6064142	27.915034	22.096394	15.257979	0.0018990	0.0014575	0.0004351	0.0024719
7.44	4.0533459	28.219031	22.597586	15.140487	0.0018900	0.0014086	0.0004626	0.0024274
7.46	4.5103501	28.520594	23.103644	15.014392	0.0018805	0.0013604	0.0004890	0.0023832
7.48	4.9775233	28.819546	23.614511	14.879514	0.0018704	0.0013132	0.0005144	0.0023394
7.50	5.4549622	29.115712	24.130125	14.735669	0.0018599	0.0012669	0.0005388	0.0022959
7.52	5.9427599	29.408909	24.650423	14.582693	0.0018489	0.0012214	0.0005622	0.0022528
7.54	6.4410099	29.698954	25.175339	14.420339	0.0018374	0.0011768	0.0005847	0.0022100
7.56	6.9498038	29.985656	25.704801	14.248480	0.0018255	0.0011330	0.0006062	0.0021675
7.58	7.4692318	30.268825	26.238736	14.066906	0.0018132	0.0010901	0.0006268	0.0021255
7.60	7.9993825	30.548263	26.777064	13.875427	0.0018004	0.0010480	0.0006465	0.0020838
7.62	8.5403431	30.823771	27.319706	13.673851	0.0017873	0.0010067	0.0006653	0.0020425
7.64	9.0921989	31.095145	27.866576	13.461984	0.0017738	0.0009663	0.0006833	0.0020016
7.66	9.6550337	31.362176	28.417583	13.239631	0.0017600	0.0009266	0.0007004	0.0019611
7.68	10.228929	31.624654	28.972636	13.006636	0.0017458	0.0008878	0.0007167	0.0019210
7.70	10.813966	31.882362	29.531637	12.762682	0.0017313	0.0008498	0.0007322	0.0018812
7.72	11.410220	32.135082	30.094485	12.507689	0.0017165	0.0008126	0.0007469	0.0018419
7.74	12.017770	32.382589	30.661075	12.241418	0.0017015	0.0007761	0.0007608	0.0018030
7.76	12.636688	32.624656	31.231296	11.963668	0.0016861	0.0007404	0.0007740	0.0017646
7.78	13.267045	32.861052	31.805036	11.674236	0.0016705	0.0007055	0.0007864	0.0017265

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
7.80	+13.908912	−33.091540	+ 32.382176	−11.372919	+0.0016547	+0.0006714	−0.0007982	−0.0016889
7.82	14.562354	33.315881	32.962594	11.059513	0.0016386	0.0006380	0.0008092	0.0016516
7.84	15.227437	33.533831	33.546162	10.733811	0.0016223	0.0006053	0.0008196	0.0016149
7.86	15.904221	33.745142	34.132749	10.395609	0.0016058	0.0005734	0.0008292	0.0015785
7.88	16.592766	33.949561	34.722218	10.044698	0.0015891	0.0005422	0.0008383	0.0015426
7.90	17.293128	34.146834	35.314428	9.6808713	0.0015723	0.0005117	0.0008467	0.0015071
7.92	18.005360	34.336699	35.909234	9.3039191	0.0015553	0.0004819	0.0008545	0.0014721
7.94	18.729513	34.518891	36.506485	8.9136321	0.0015381	0.0004528	0.0008616	0.0014375
7.96	19.465635	34.693142	37.106026	8.5098003	0.0015208	0.0004244	0.0008682	0.0014033
7.98	20.213769	34.859180	37.707694	8.0922127	0.0015034	0.0003966	0.0008743	0.0013696
8.00	20.973956	35.016725	38.311326	7.6606590	0.0014858	0.0003696	0.0008797	0.0013363
8.02	21.746234	35.165498	38.916749	7.2148305	0.0014682	0.0003432	0.0008846	0.0013035
8.04	22.530636	35.305212	39.523788	6.7546219	0.0014505	0.0003174	0.0008890	0.0012711
8.06	23.327195	35.435577	40.132260	6.2798227	0.0014326	0.0002923	0.0008929	0.0012391
8.08	24.135935	35.556300	40.741980	5.7902103	0.0014147	0.0002679	0.0008963	0.0012076
8.10	24.956881	35.667081	41.352754	5.2855739	0.0013968	0.0002440	0.0008992	0.0011766
8.12	25.790051	35.767618	41.964385	4.7657062	0.0013788	0.0002208	0.0009016	0.0011459
8.14	26.635461	35.857603	42.576669	4.2303812	0.0013607	0.0001982	0.0009036	0.0011158
8.16	27.493121	35.936727	43.189396	3.6793951	0.0013426	0.0001762	0.0009051	0.0010860
8.18	28.363038	36.004672	43.802353	3.1125257	0.0013245	0.0001547	0.0009062	0.0010567
8.20	29.245215	36.061120	44.415316	2.5295670	0.0013064	0.0001339	0.0009069	0.0010279
8.22	30.139649	36.105746	45.028061	1.9303009	0.0012882	0.0001136	0.0009072	0.0009995
8.24	31.046334	36.138221	45.640353	1.3145233	0.0012701	0.0000939	0.0009070	0.0009715
8.26	31.965259	36.158214	46.251954	0.6819971	0.0012520	0.0000748	0.0009065	0.0009440
8.28	32.896406	36.165385	46.862618	−0.0325334	0.0012338	0.0000562	0.0009056	0.0009168
8.30	33.839755	36.159401	47.472095	+0.6340860	0.0012157	0.0000381	0.0009044	0.0008902
8.32	34.795280	36.139908	48.080126	1.3180749	0.0011977	0.0000205	0.0009028	0.0008639
8.34	35.762949	36.106560	48.686448	2.0196349	0.0011796	0.0000035	0.0009009	0.0008381

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
8.36	+36.742725	−36.059004	+49.290789	+2.7389694	+0.0011616	−0.0000130	−0.0008985	−0.0008127
8.38	37.734566	35.996881	49.892873	3.4763063	0.0011437	0.0000290	0.0008961	0.0007878
8.40	38.738423	35.919830	50.492416	4.2318308	0.0011258	0.0000445	0.0008932	0.0007632
8.42	39.754243	35.827485	51.089128	5.0057599	0.0011080	0.0000595	0.0008900	0.0007391
8.44	40.781967	35.719475	51.682712	5.7982935	0.0010902	0.0000741	0.0008866	0.0007154
8.46	41.821529	35.595427	52.272863	6.6096330	0.0010725	0.0000881	0.0008829	0.0006921
8.48	42.872857	35.454963	52.859271	7.4399654	0.0010549	0.0001017	0.0008789	0.0006692
8.50	43.935873	35.297700	53.441618	8.2895110	0.0010373	0.0001149	0.0008747	0.0006467
8.52	45.010492	35.123253	54.019580	9.1584559	0.0010199	0.0001276	0.0008702	0.0006247
8.54	46.096625	34.931231	54.592824	10.046999	0.0010025	0.0001399	0.0008655	0.0006030
8.56	47.194172	34.721241	55.161011	10.955329	0.0009853	0.0001517	0.0008605	0.0005817
8.58	48.303029	34.492884	55.723795	11.883638	0.0009681	0.0001632	0.0008554	0.0005609
8.60	49.423085	34.245761	56.280823	12.832107	0.0009511	0.0001742	0.0008500	0.0005404
8.62	50.554221	33.979464	56.831733	13.800932	0.0009341	0.0001848	0.0008445	0.0005203
8.64	51.696311	33.693586	57.376157	14.790287	0.0009173	0.0001950	0.0008387	0.0005006
8.66	52.849222	33.387714	57.913719	15.800363	0.0009006	0.0002048	0.0008328	0.0004813
8.68	54.012812	33.061431	58.444036	16.831337	0.0008840	0.0002142	0.0008267	0.0004624
8.70	55.186932	32.714319	58.966717	17.883373	0.0008675	0.0002233	0.0008204	0.0004438
8.72	56.371427	32.345954	59.481364	18.956647	0.0008512	0.0002320	0.0008140	0.0004256
8.74	57.566130	31.955910	59.987568	20.051335	0.0008350	0.0002403	0.0008074	0.0004078
8.76	58.770870	31.543757	60.484918	21.167579	0.0008189	0.0002483	0.0008007	0.0003904
8.78	59.985465	31.109062	60.972990	22.305569	0.0008029	0.0002560	0.0007938	0.0003733
8.80	61.209725	30.651388	61.451355	23.465437	0.0007871	0.0002632	0.0007868	0.0003565
8.82	62.443452	30.170297	61.919574	24.647343	0.0007715	0.0002702	0.0007797	0.0003402
8.84	63.686438	29.665346	62.377202	25.851452	0.0007559	0.0002769	0.0007725	0.0003241
8.86	64.938466	29.136090	62.823785	27.077888	0.0007406	0.0002832	0.0007651	0.0003085
8.88	66.199312	28.582081	63.258861	28.326795	0.0007253	0.0002892	0.0007577	0.0002931
8.90	67.468741	28.002868	63.681961	29.598314	0.0007102	0.0002949	0.0007502	0.0002781

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
8.92	+68.746508	−27.397997	+64.092604	+30.892555	+0.0006953	−0.0003003	−0.0007425	−0.0002635
8.94	70.032360	26.767013	64.490306	32.209668	0.0006805	0.0003055	0.0007348	0.0002491
8.96	71.326031	26.109457	64.874571	33.549782	0.0006659	0.0003103	0.0007270	0.0002351
8.98	72.627249	25.424868	65.244897	34.912967	0.0006515	0.0003149	0.0007192	0.0002214
9.00	73.935730	24.712783	65.600771	36.299381	0.0006372	0.0003192	0.0007112	0.0002081
9.02	75.251180	23.972737	65.941674	37.709097	0.0006230	0.0003232	0.0007032	0.0001950
9.04	76.573294	23.204263	66.267079	39.142224	0.0006090	0.0003270	0.0006952	0.0001823
9.06	77.901756	22.406891	66.576448	40.598857	0.0005952	0.0003305	0.0006871	0.0001699
9.08	79.236241	21.580151	66.869236	42.079072	0.0005816	0.0003338	0.0006789	0.0001577
9.10	80.576411	20.723570	67.144889	43.582960	0.0005681	0.0003368	0.0006707	0.0001459
9.12	81.921919	19.836674	67.402847	45.110578	0.0005547	0.0003396	0.0006625	0.0001344
9.14	83.272403	18.918987	67.642538	46.662019	0.0005416	0.0003422	0.0006543	0.0001231
9.16	84.627494	17.970034	67.863384	48.237301	0.0005286	0.0003445	0.0006460	0.0001122
9.18	85.986809	16.989336	68.064796	49.836477	0.0005157	0.0003467	0.0006377	0.0001015
9.20	87.349953	15.976414	68.246178	51.459625	0.0005030	0.0003486	0.0006293	0.0000911
9.22	88.716519	14.930790	68.406927	53.106759	0.0004905	0.0003503	0.0006210	0.0000810
9.24	90.086088	13.851984	68.546428	54.777901	0.0004782	0.0003518	0.0006126	0.0000710
9.26	91.458230	12.739514	68.664060	56.473076	0.0004660	0.0003531	0.0006043	0.0000615
9.28	92.832504	11.592900	68.759192	58.192287	0.0004540	0.0003543	0.0005959	0.0000522
9.30	94.208443	10.411662	68.831185	59.935542	0.0004422	0.0003552	0.0005875	0.0000431
9.32	95.585589	9.1953182	68.879385	61.702833	0.0004305	0.0003560	0.0005792	0.0000343
9.34	96.963456	7.9433883	68.903153	63.494139	0.0004190	0.0003566	0.0005708	0.0000258
9.36	98.341548	6.6553924	68.901809	65.309435	0.0004077	0.0003570	0.0005624	0.0000175
9.38	99.719357	5.3308509	68.874700	67.148681	0.0003965	0.0003573	0.0005541	0.0000094
9.40	101.09636	3.9692853	68.821114	69.011842	0.0003855	0.0003574	0.0005458	−0.0000016
9.42	102.47202	2.5702240	68.740374	70.898843	0.0003747	0.0003574	0.0005375	+0.0000060
9.44	103.84579	−1.1331804	68.631792	72.809645	0.0003640	0.0003572	0.0005292	0.0000134
9.46	105.21710	+0.3423374	68.494648	74.744132	0.0003535	0.0003568	0.0005210	0.0000205

x	ber x	bei x	ber′ x	bei′ x	ker x	kei x	ker′ x	kei′ x
9.48	+106.58538	+1.8567489	+68.328238	+76.702243	+0.0003432	−0.0003564	−0.0005127	+0.0000275
9.50	107.95003	3.4105733	68.131840	78.683872	0.0003330	0.0003557	0.0005045	0.0000342
9.52	109.31045	5.0042607	67.904714	80.688905	0.0003230	0.0003550	0.0004964	0.0000406
9.54	110.66601	6.6382879	67.646095	82.717213	0.0003132	0.0003541	0.0004883	0.0000469
9.56	112.01607	8.3131015	67.355301	84.768687	0.0003035	0.0003531	0.0004802	0.0000530
9.58	113.36000	10.029184	67.031496	86.843122	0.0002940	0.0003520	0.0004721	0.0000588
9.60	114.69711	11.786984	66.673989	88.940419	0.0002846	0.0003508	0.0004641	0.0000645
9.62	116.02673	13.586944	66.281960	91.060375	0.0002754	0.0003494	0.0004562	0.0000699
9.64	117.34816	15.429555	65.854644	93.202805	0.0002664	0.0003480	0.0004482	0.0000752
9.66	118.66067	17.315223	65.391259	95.367498	0.0002575	0.0003464	0.0004404	0.0000803
9.68	119.96357	19.244404	64.890995	97.554261	0.0002487	0.0003448	0.0004326	0.0000852
9.70	121.25607	21.217532	64.353071	99.762854	0.0002402	0.0003430	0.0004248	0.0000899
9.72	122.53742	23.235047	63.776660	101.99302	0.0002317	0.0003412	0.0004171	0.0000944
9.74	123.80687	25.297392	63.160927	104.24453	0.0002235	0.0003392	0.0004094	0.0000988
9.76	125.06359	27.404976	62.505089	106.51710	0.0002154	0.0003372	0.0004018	0.0001030
9.78	126.30679	29.558213	61.808294	108.81043	0.0002074	0.0003351	0.0003943	0.0001070
9.80	127.53565	31.757531	61.069692	111.12424	0.0001996	0.0003329	0.0003868	0.0001108
9.82	128.74929	34.003310	60.288439	113.45818	0.0001919	0.0003307	0.0003794	0.0001145
9.84	129.94691	36.295983	59.463692	115.81196	0.0001844	0.0003284	0.0003721	0.0001180
9.86	131.12756	38.635922	58.594605	118.18516	0.0001771	0.0003260	0.0003648	0.0001214
9.88	132.29037	41.023524	57.680274	120.57747	0.0001698	0.0003235	0.0003575	0.0001246
9.90	133.43446	43.459153	56.719839	122.98848	0.0001628	0.0003210	0.0003504	0.0001277
9.92	134.55885	45.943195	55.712435	125.41778	0.0001558	0.0003184	0.0003433	0.0001306
9.94	135.66262	48.475985	54.657166	127.86498	0.0001490	0.0003158	0.0003363	0.0001334
9.96	136.74481	51.057901	53.553154	130.32960	0.0001424	0.0003131	0.0003293	0.0001360
9.98	137.80442	53.689275	52.399478	132.81120	0.0001358	0.0003103	0.0003224	0.0001385
10.00	138.84047	56.370459	51.195258	135.30930	0.0001295	0.0003075	0.0003156	0.0001409

土木試驗所出版圖書

報告

號	件名	發行年月
1	路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告(牧) 瀝青質材料並瀝青質混合物に關する研究第一報(三木)	14. 3
2	瀝青質材料針度に就て	15. 1
3	「ヴァイアログ」に依る路面凹凸測定 瀝青混合物に關する研究 「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルト」の粘度に就て	15. 2
*4	急硬セメントに關する試驗報告	15. 5
*5	簡易鋪裝に關する試驗報告	2. 3
*6	混凝土及鐵筋混凝土抗扭力試驗報告(宮本)	2. 5
*7	八幡製鐵所副產部製品，瀝青質材料，瀝青質鋪裝，「セメント」類及揮發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績(三木,山田耕,小田)	2. 7
*8	瀝青質材料標準試驗方法 石材類標準試驗方法	2.10
*9	急硬性「セメント」に關する試驗(三木，高田，稻生，小田，大和田) 「ソリデチット」の耐壓强度に關する試驗(高田,細山) 「ブロック」に關する試驗(西川,眞崎,船山) 高知縣黑瀧川產砂に關する試驗(高田) 多摩川產砂利及砂に關する調查(高田) 石材類試驗成績(高田,眞崎)	2.11
*10	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第一)(藤井,船山) 道路橋振動試驗(青木)	3. 3
*11	瀝青滲透ブロック試驗成績(三木,小田) 鋪裝工事用サーフエス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗(高田) 常願寺川產砂に關する試驗(高田,眞崎,細山)	3. 7
	アスファルト・ブロック試驗成績(三木,松本) 各種アスファルト・ブロック比較試驗成績(三木,松本) 石油アスファルトとコール・タール・ピッチとの混合物に關する試驗(三木,山田耕)	

號	件名	發行年月
*12	瓦斯燈及骸炭燈タール及ピッチに關する試驗成績(三木,山田耕) コール・タール・ピッチ中の純瀝青に就て(三木,山田耕) 大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化(永峯) 石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響(永峯) 標準砂モルタルの强度に及ぼす火山灰及石粉の影響(高田)	4. 1
13	ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗(山田,船山) 橋梁用敷板强度試驗(青木,鈴木) 舊厩橋鐵材の腐蝕に關する調查(青木) 鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試驗(高田)	4. 5
*14	瀝青乳劑及ピチユマルス鋪裝に關する試驗(藤井,永峯) 瀝青滲透ブロックに關する試驗(三木) 瀝青質材料の滲透性に關する試驗(三木) 瀝青質材料の粘度及膨脹係數に關する試驗(三木,山田耕)	4.12
*15	北上川降開式轉動堰模型試驗(物部,青木,伊藤) 電氣熔接法による鐵筋の接合(青木) 現場打混凝土の耐壓試驗報告(高田)	5. 2
*16	路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第二)(藤井) 瀝青滲透ブロック鋪裝試驗(三木) 工事用石材試驗成績(高田,眞崎)	5. 5
*17	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第三)(藤井)	5. 5
*18	混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試驗(山田,船山) 鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響竝に之に應ずる設計及工法に就て(一)(藤井) 鬼怒川上流改修工事用角礫凝灰岩砂利及砂に關する試驗(高田) 鐵筋混凝土道路橋設計資料(大野) 各種土木工事用材料試驗成績(三木)	5.10
*19	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響竝に之に基く道路設計の基本に關する研究(第四)(藤井)	5.11
20	東京山手赤土の彈性的性質に關する試驗(一)(高田) 基礎の沈下量算定法(一)(松村) 岩淵水門に關する水理試驗(青木,	6. 6

號	件名	發行年月
	伊藤) 單鉸拱橋模型試驗(三浦) 國道鉸筋混凝土丁桁橋標準設計案(大野)	
21	背水曲線の一般的解法(物部, 伊藤) 單鉸拱の振動に關する理論竝に實驗(三浦) 混凝土鋪裝の繼目に關する試驗(山田, 船山) 河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響(西川, 川畑) 標準砂モルタルの强度に及ぼす石粉の影響(高田) 瀝青乳劑試驗成績(西川)	6.12
22	地震時土壓の實驗的研究(松尾) 混凝土鋪裝繼目用エラスタイト試驗(西川, 松本) 高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試驗(高田) 基礎の沈下量算定法(第二)(松村) 新土壓計算圖表(本間)	7. 5
23	簡易鋪裝に關する實地比較試驗(山田, 船山) 鋼矢板試驗(青木) 大和川筋魚ノ洲地区に關する調査(第一)(高田)	7. 7
24	道路の背向曲線の設計に就て(藤井) 阻柱に關する試驗(本間) 乳劑の粘度に就て(島田) 府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案(大野) 碎石の磨損率に關する一試驗(高田) 三陸津浪調査報告(松尾) 本邦産鋪裝用石材(附錄)(高田, 眞崎)	8. 6
*25	本邦鋪裝用タールの性質に就て(西川, 山田稔) 横溢流堤流量試驗(伊藤, 本間) 擁壁の安定增大に關する一提案及之に關する試驗(松尾) 砂利層の支持力に關する試驗(第一報)(山田, 船山) 鋼矢板試驗(續)(青木) エタニット・パイプ試驗(青木)	8.11
26	地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の隧面決定法(物部) 田中村調節池溢流堤に關する水理試驗(本間) 瀝青鋪裝切取試驗體の性質(西川, 松本) 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第一報)(島田, 扁島) 自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其一)(松村)	9. 3
27	道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て(藤井) 津浪の災害輕減に關する模型試驗(松尾) 津浪の變形の理論(本間) 三陸津浪調査報告(追加)(松尾)	9. 6

號	件名	發行年月
	自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其の二)(松村) 瀝青透入マカダムに關する試驗(第一報)(山田, 船山)	
*28	地震動による土堰堤の變形(松村) 鎔着鋼引張試驗用小型試驗片(青木, 佐藤) 國產瀝青乳劑試驗成績(西川) 骨材及び類似材料の靱性に關する研究(島田) 鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計(1)(大野)	9.10
29	矢板擁壁の控板に作用する力に關する試驗(松尾) 瀝青繼目材試驗成績(西川, 松本) 南洋材カボール竝にクーペンタインの物理的諸性質に關する試驗(青木, 石川) 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第2報)(島田, 扁島) 阪神地方沿岸風水害調査報告(松尾)	9.12
30	道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第3報)(島田, 本間) 鐘口狀河口に於ける水流に就て(本間) 下關海峽の潮流に關する模型試驗(本間) 基礎版の基本的研究(第1報)(松村) 溢流堤下游洗掘防止に關する一試驗(八木) 國道鉄結鈑桁橋標準設計案(青木, 牧野)	10.4
31	土砂の安定强度試驗(山田, 西川) 本邦鋪裝用タールの性質(其のII.)(西川) 道路鋪裝用タール乳劑に關する研究(第1報)(扁島, 川畑) 擁壁裏込の土壓輕減の効果に關する試驗(松尾) 浦戸港々口の潮流に關する試驗(第1報)(本間)	10.8
32	本邦道路橋の重量(青木, 佐藤) 道路鋪裝用タール乳劑に關する研究(第2報)(島田) 河川灣曲部に於ける水流に就て(本間) タールとアスファルトとの混合物の鋪裝材としての性質(西川) タール鋪裝と水稻の發育との關係(西川) ポートランドセメントの凝結後に於ける溶解物の *PH* に就て(高田) 王泊堰堤の湧水の温度及水素イオン濃度(高田)	10.11
33	砂利路面工の配合比に關する試驗(山田, 船山) 鋼橋鉚接杏壓縮試驗(青木, 鈴木) 基礎版の基本的研究(第2報)基礎桁(松村) 道路鋪裝用アスファルトの力學的特	11. 3

號	件名	發行年月
	性に就て(其の1)(島田) 停止波に就て(横田)	
34	瓦斯切斷による削穿が鋲接の强度に及ぼす影響(青木) 防波堤の安定に關する一試驗(松尾) 二,三の土木材料の比熱測定結果に就て(島田) 二,三の外國製鋪裝用瀝青乳劑の性狀に就て(福島) 土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響(山田) 土木工事用金屬材料分析試驗(西川,福島,川畑) 種々の土木工事用材料に關する試驗(西川,福島,川畑) 施工方法による砂利路面工の耐力の比較試驗(山田,船山) 鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計(2)(大野)	11. 6
35	基礎版の基本的研究(第3報)圓形基礎版(松村,中西) 浦戸港々口の潮流に關する試驗(第2報)(松尾,本間) アスファルト混合タールの鋪裝材としての性質(西川)	11. 8
36	鋪裝コンクリートの力學的性質に關する試驗(蘆井) 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第4報)(島田) 瀝青透入マカダムに關する試驗(第2報)(山田,船山) 熔接鈑桁突條鈑衝合接手の接合角度に就て(青木) 大阪港附近の津浪の災害輕減に關する模型試驗(松尾) 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(島田)	11.11
37	骨材の最大密度の粒度に就て(蘆井) 土の乾燥に伴ふ壓縮强さの變化(山田) アスファルト,タールの性質に及ぼす氣象作用の影響,特にその薄層の場合の性質變化(西川,山田耕) 岸壁裏込の特殊工法がその安定度に及ぼす影響に關する試驗(松尾,高橋) コンクリートの熱的性質に關する試驗(第1報)(島田)	12. 5

彙報

號	件名	發行年月
1	試驗調査事務分掌 試驗調査事項の處理方法 現在實施中の主なる試驗調査事項 昭和11年に於ける材料その他の依頼試驗 備付雜誌 附 處務細則	12. 3
2	赤羽分所水理試驗設備	12. 3

其他

本邦道路橋輯覽	14.12
本邦道路橋輯覽(增補)	3. 3
*第六回國際道路會議に關する報告書	7. 4
土木工事用材料標準試驗方法	7. 4
本邦道路橋輯覽 第三輯	10.11

(*印は殘部なし)

昭和十二年九月十日 印刷
昭和十二年九月十五日 發行

內務省土木試驗所
東京市本鄉區駒込上富士前町二十六番地
電話大塚(86){自3101番 至3103番

印刷者 井上源之丞
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二

印刷所 凸版印刷株式會社
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二