415 gr

土木試驗所報告

第二十七號

昭和九年　第二冊

道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て
津浪の災害輕減に關する模型試驗
津浪の變形の理論
三陸津浪調査報告(追加)
自動車の路面に及ぼす衝撃に關する研究(其の二)
瀝青透入マカダムに關する試驗(第一報)

1934 — VI

內務省土木試驗所

右歸右文用紙 自金菱 68年

	本文始	紙
藻井	47	48

	本文	字英	字英説明	折返説明	点数	字英
藻井	47_2					
松尾	28	6	6			
本間	10					
松尾	1			1		
松村	41					
山田	51		2			

土木試驗所報告

第二十七號

序　言

本報告は“道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て”,“津浪の災害輕減に關する模型試驗”,“津浪の變形の理論”,“三陸津浪調査報告（追加）”,“自動車の路面に及ぼす衝撃に關する研究（其の二）”及“瀝青透入マカダムに關する試驗（第一報）”等を輯錄せるものである.

道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て　は道路用として極めて重要なる骨材の粒子形狀の基本的研究として，先づ碎石と砂利との粒子形狀に關する示數を定め，之が骨材の性質に及ぼす影響，粒子の大さと骨材の性質等に關する試驗を行ひ以て骨材の用法及選定の資料を得んとするもので，茲に其の一部の試驗結果を發表せるものである.

津浪の災害輕減に關する模型試驗　は海岸に於ける津浪の波形の變化及災害輕減の爲に設くる構造物の効果，特に防浪堤の位置及高さが防浪の効果に及ぼす影響に就ての試驗結果を述べたものである.

津浪の變形の理論　は海洋中を傳播せる津浪が陸岸に近付ける際に，地形の爲に生ずる波形の變化に關する理論の研究である.

三陸津浪調査報告（追加）　は報告第二十四號所載の該報告に洩れたる北海道及青森縣の津浪浸水區域及浸水高の調査結果を追加せるものである.

自動車の路面に及ぼす衝撃に關する研究（其の二）　は報告第二十六號所載の理論を米國道路局の衝撃試驗に適用し，實驗値と計算値とを比較し以て理論的に求めたる衝撃の大さの近似の程度を明にしたものである.

瀝青透入マカダムに關する試驗（第一報）　はアスハルト，タール及アスハルト乳劑等を用ひる透入マカダム鋪裝に就て基礎，層厚，工法及材料の相違により耐力に及ぼす影響を比較測定して，斯種鋪裝に對する適當なる工法を探究推定し併せて之等三種相互間及他種鋪裝との經濟的比較を爲さんとするものであるが，第一報は主としてアスハルトマカダムに關する研究である.

昭和九年六月

內務省土木試驗所長　內務技師　物　部　長　穗

目　　次

道路用骨材の性質に及ぼす粒子形状の影響に就て……1

内務技師　藤井眞透

津浪の災害輕減に關する模型試驗……49

内務技師　松尾春雄

津浪の變形の理論……83

本間仁

三陸津浪調査報告（追加）……93

内務技師　松尾春雄

自動車の路面に及ぼす衝撃に關する研究（其の二）……95

内務技師　松村孫治

瀝青透入マカダムに關する試驗（第一報）……137

内務技師　山田元

内務技手　船山晴雄

更数、48 至 47 組
カット 42個

土木試驗所報告

第二十七號

道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て

2分アケ＝7mm

内務技師　藤　井　眞　透

目　次

I　總　說……（2）
1. 概　說……（2）
2. 骨材の粒度及その測定法……（3）
3. 既往の經驗より考へたる骨材粒子形狀の特質……（5）
4. 粒子の形狀に關する諸說……（7）
II　粒度測定に及ぼす篩分の影響……（9）
5. 粒度測定に及ぼす篩分方法の影響……（9）
6. 粒度測定に及ぼす篩の影響……（12）
7. 篩を通過する粒子の大さと篩目との關係……（14）
III　粒子の形狀示數……（17）
8. 概　說……（17）
9. 粒子の邊長……（18）
10. 粒子の平均徑……（19）
11. 形狀不同率……（21）
12. 球形率……（22）
13. 容積係數……（22）
14. 細長率……（22）
15. 方形率……（23）
16. 扁平率……（23）
17. 砂利と碎石との形狀示數の比較……（24）
IV　骨材の見掛比重及空隙率に及ぼす裝入方法の影響……（25）
18. 輕裝，密裝及中位裝の標準方法……（25）
19. 骨材の見掛比重に及ぼす裝入方法の影響……（26）

20. 骨材の空隙率に及ほす裝入方法の影響……(29)
V 骨材の比粒數と粒子の大さ……(30)
21. 骨材の比粒數……(30)
22. 粒子の大さ……(31)
VI 骨材の容積壓縮率，間隙の大さ等に及ほす粒子形狀の影響……(34)
23. 骨材の容積壓縮率に及ほす粒子形狀の影響……(34)
24. 骨材の粒子間隙の大さ……(36)
25. 粒子の間隙填充材の大さ……(37)
VII 骨材の工學的性質に及ほす粒子形狀の影響……(39)
26. 概 說……(39)
27. 息角に及ほす粒子形狀の影響……(39)
28. 締合强さに及ほす粒子形狀の影響……(40)
29. 剪斷抵抗に及ほす粒子形狀の影響……(42)
VIII 骨材のバルキングに及ほす粒子の大さの影響……(43)
30. 粒子表面を濕潤せしむるに要する水量……(43)
31. 骨材組成分に及ほす含水量の影響……(44)
32. バルキングに及ほす粒子の大さの影響……(45)
IX 試驗結果の約說……(46)

I 總 說

(1.) 概 說

マカダム，コンクリート，瀝青コンクリート鋪裝等に用ふる骨材は之らの主體を構成するものであるから之ら鋪裝の性質に及ほす影響は極めて顯著である．之らの影響は粒度と粒子形狀に基くもので，粒度に關する研究は從來幾多の實驗が行はれたが粒子形狀に關しては未だ定說なく，而して之らの鋪裝は多年の經驗に基きて多くは人工破碎せる碎石を用ふる事實に鑑み，之らは一は粒子の稜角性を利用して各粒子の嚙合作用を行はしめ，一は粒子表面の粗狀を利用して摩擦力を大ならしめ，同時に結合材の附着力を增大せしむるものと思はれる．之らの鋪裝が從來天然砂利を用ひて充分なる効果を擧げ得ざりし經驗に鑑み，今粒子形狀に關する研究を行ひ，粗骨材及細骨材の工學的性質に及ほす影響に關する試驗を行ひ，之によりて骨材選定の基準を求め，進んで之らの形狀に對應する鋪裝工法を研究せむとするものである．

本編に於ては粒子形狀を異にする碎石と砂利，碎石屑と川砂とに就きて (1)容積係數及球形率を定め，(2)細長率，方形率及扁平率を求め，(3)形狀不同性を求め，之らの形

狀示數が骨材の性質に及ぼす影響を測定する爲に次の試驗を行つた.

（1） 篩分に當り同一仕事量を與へた場合の篩通過量を測定し，通過の難易の程度及粒子の平均徑を比較し

（2） 裝入方法を異にする場合の見掛比重を測定し空隙率を求め，同一仕事量を加へて裝入した狀態の性質を比較し

（3） 裝入に要する仕事量と空隙率との關係から空隙壓縮率を求め

（4） 息角を測定して粒子形狀及表面の性狀の影響を比較し

（5） 締合强さを測定し粒子の嚙合作用の程度を比較し

（6） 剪斷抵抗を測定し

之によりて粒子の形狀が骨材の性質に及ぼす影響を比較し，以て鋪裝混合物の工學的性質を闡明せんとするものである.

更に骨材の性質に及ぼす粒子の大さの影響の顯著なるに鑑み，（1）粒子の平均徑を比較し，（2）比粒數を求め，（3）骨材の性質に及ぼす粒子の大さを比較測定し，（4）殊に細骨材のバルキングに及ぼす影響を測定した.

試料は碎石機によりて一段破碎せられたる碎石と碎石屑，天然崩壞を受け多年に亘り稜角の磨損を受けたる砂利と砂とをとり，粗骨材と細骨材との區別が單に粒子の大さに基く便宜の方法で行はるゝに鑑み之らを通じたる性質の普遍性を考へた．天然砂利類と人工による一段破碎の碎石類との間に碎石機により複段破碎を加へたるもの，ボールミル等により複段粉碎を加へたるもの等あるが，之らに就ては更に研究を進むる考へである.

2. 骨材の粒度及その測定法

骨材の工學的性質に影響を及ぼす粒子の混合割合を知るには粒子の大さとその分布狀態を明かにするを要する.

（1） 粒子の大さ

粒子は整形をなさないから何れの粒度測定法によるもその大さを正確に定むる事は出來ないので，今粒子の三軸方向の長を a, b, c とし，その平均の大さを表すものとして次の如きものをとつた.

（a） 粒子の俯瞰面の平均邊長 $d_m=\dfrac{(a+b)}{2}$

（b） 俯瞰面の長さ a, b の矩形と等面積の方形の邊即ちダットマン（Guttmann）徑 $d_m=\sqrt{ab}$

（c） 三軸の長さの平均邊長 $d_m=\dfrac{(a+b+c)}{3}$

（d） 並行六面體 abc と等表面積の正六面體の邊 $d_m=\sqrt{\dfrac{ab+bc+ca}{3}}$

（c） 並行六面體 abc と等體積の正六面體の邊即ちパールソン（Person）徑 $d_m=\sqrt[3]{abc}$

（f） 並行六面體 abc とその平均面積との比 $d_m=\frac{3abc}{ab+bc+ca}$

之らの平均徑の大さは(a)が最も大きく表はされ(b)(c)の順に次第に小さくなり(f)が最も小さく示さるゝは明である.

粒子の大さを異にする骨材の平均徑は次の如く定められる.

（a） 粒子の長さより　平均徑 $=\frac{\Sigma nd}{\Sigma n}$

（b） 同表面積より　平均徑 $=\sqrt{\frac{\Sigma nd^2}{\Sigma n}}$　又は $\frac{\Sigma nd^2}{\Sigma nd}$

（c） 同體積より　平均徑 $=\sqrt[3]{\frac{\Sigma nd^3}{\Sigma n}}$　又は $\frac{\Sigma nd^3}{\Sigma nd^2}$

茲に n：粒子數　d：その大さ

邊長は直接に測定し，表面積は次の方法が考へられてゐる.

（a） 粉霧狀の液體のものに對しては，粒子の有する電氣量，粒子の爲に起る透過光線の弱りを測定する方法でソウテルが求めたものである.

（b） マルチンの行へる方法で粒子が酸液に溶解する速度を測定し既知表面積のものゝ速度と比較して求むるもの.

（c） 粒子の表面を被覆する液體の量を測定し，既知表面積を被覆する膜厚から粒子の表面積を算定するもの.

表面積に關する研究は後日の報告にのべる事とする.

（2） 粒子分布の表し方

骨材は徑の異る粒子の混合せるものであるからその混合割合，粒子の分布を表すに次の方法がある.

（a） 數の分布　$\frac{n}{\Sigma n}$　　（b） 長の分布　$\frac{nd}{\Sigma nd}$

（c） 表面積の分布　$\frac{nd^2}{\Sigma nd^2}$　　（d） 容積の分布　$\frac{nd^3}{\Sigma nd^3}$

（e） 重量の分布　$\frac{n\sigma d^3}{\Sigma n\sigma d^3}$

d：徑，σ：比重，n：邊長（$d\pm\Delta d$）の粒子數

粒度は骨材の性質として容積の分布を以て表すのが適當であるが，測定の簡易なる爲に重量の分布を以て表すを普通とする.

（3） 測 定 法

骨材はその量多いから通常篩を用ひて直接に篩分けて數個の群に分けてゐるが，微粉のものは氣流と混じ風篩器を用ひて流速度に應じて異る粒徑のものを分ち，又は懸濁液を造

り沈降法により沈澱速度の差を利用して分けてゐるが何れの場合も粒徑の大なるものはそのまゝに，極めて小なるものは擴大して實際に測定するを要する．

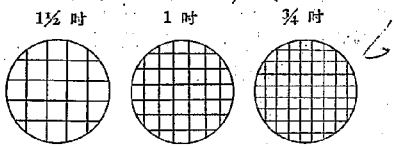
（a） 篩

篩はタイラー標準篩を用ひ粗骨材にも角孔篩を用ひた．

篩分の結果は，各寸法の粒子の量を直接に表すものであるが，孔徑 1吋 のものは，篩の中央部分の9箇の孔のみが規定徑を有しその周圍の16箇は之より孔徑が小である．而して篩分の際骨材はその緣周に集り中央の規定徑を通過しないから篩分に相當の注意を要する．從て之らの寸法の篩はその枠の寸法を大にするか然らざれば中央部を幾分低く取付くるを要すると考へらる．

篩分には手篩とフローテーブル及ロータップによる振盪法を用ひた．

フローテーブルはコンクリートのウァカビリティ測定用のものを用ひ，ロータップは第2圖に示すが如く動軸のA～B間の動きは毎分90往復をなし，1往復毎に2回，高さ 3.5 mm を落下するものである．



第 1 圖

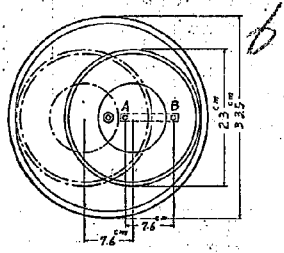
遠心力により試料が篩の周邊及動軸の反對側に集積する傾向がありて篩通過が充分でない傾向がある．

（b） 風 篩 器

米國規格局標準型，ゴネル式，ピーターゼン式型あるも何れも風速に應ずる粒子の大さを分つもので，ストークスの法則に從ふものとして之を測定する，骨材に對しては之を用ひない．

（c） 沈降法による測定法

風篩器と同樣の方則に從ふもので只液體中に浮游懸濁せしめその沈降速度により粒徑を分つものである．微粉のみに用ひられるから骨材には應用しない．



第 2 圖

3. 既往の經驗より考へたる骨材粒子形狀の特質

鋪裝に用ふる骨材の影響は從來の經驗及實驗に基き次の如き結論に達してゐる．

（1） マカダム鋪裝

骨材の噛合作用を充分ならしむる爲に碎石のみを用ひその稜角性を利用して噛合はしめ

稜角が磨損して生ずる石粉の水硬性を利用して附着強度を保持せしめる.

(2) コンクリート骨材の粒度係數

コンクリートの配合に當りエブラムス氏は實驗結果に基きて一定配合に對して骨材の粒度係數の一定限度を定めた. 而してその限度は碎石に對しては砂利に對するものより 0.25 % 少く定めてゐる.

(3) コンクリートの強さに及ぼす影響

米國道路局で行つた試驗結果を檢討してみると, 碎石コンクリートは砂利コンクリートに比して引張強さ及曲げ強さ共に大であり, 玆に骨材の形狀の影響大なるを認め得る. その結果は次の如し.

等しき粒度係數を有する碎石と砂利の寸法を異にする 4 種の粗骨材を用ひ, 配合を異にする 4 種のコンクリートを造り材齡 28 日の壓縮強さに對する引張及曲げ強さの比を求むれば第 1 表及第 2 表の如し.

第 1 表

壓縮強さに對する引張及曲げ強さの比

粗骨材粒度係數	種別	曲げ強さ / 壓縮強さ (%) 配合比 1:1.6:3	1:1.6:4	1:2:4	1:2:4.5	引張強さ / 壓縮強さ (%) 配合比 1:1.6:3	1:1.6:4	1:2:4	1:2:4.5
8.15	碎石	17.2	18.5	18.4	19.5	7.5	7.2	7.5	7.2
	砂利	16.6	18.0	17.6	18.3	6.7	6.4	6.5	6.5
7.80	碎石	17.0	17.9	18.3	18.9	8.2	7.4	7.8	7.6
	砂利	16.6	15.6	17.5	18.3	7.4	6.6	7.2	7.0
8.45	碎石	16.8	17.8	19.2	18.5	8.1	7.3	8.6	7.9
	砂利	16.2	16.4	17.7	17.3	7.2	6.7	7.4	7.1
7.40	碎石	17.0	19.8	19.6	19.5	8.7	8.3	9.1	8.2
	砂利	16.2	18.0	18.1	18.8	7.7	7.3	8.3	7.6

第 2 表

砂利コンクリートの強さより碎石コンクリート強さの大なる割合

粗骨材粒度係數	強さ別	配合比 1: 1.6: 3	1: 1.6: 4	1: 2: 4	1: 2: 4.5	平均
8.15	引張強さ	11.9	12.4	15.4	10.6	12.5
	曲げ強さ	3.6	2.7	4.5	6.5	4.3
7.80	引張強さ	11.0	12.0	8.3	11.4	10.7
	曲げ強さ	2.3	14.7	5.6	2.7	6.3
8.45	引張強さ	12.4	9.0	16.2	11.1	12.2
	曲げ強さ	3.7	8.5	8.3	6.9	6.9
7.40	引張強さ	12.9	13.6	9.6	7.9	11.0
	曲げ強さ	5.0	10.0	8.2	3.7	6.7
平均	引張強さ	12.1	11.8	12.4	10.3	11.6
	曲げ強さ	3.7	9.0	6.7	5.0	6.1

碎石コンクリートは砂利コンクリートに比して配合，粒度の大さに拘らず常に壓縮强さに對し引張及曲げ强さが比較的大にしてその割合は，引張强さは 11.6% 大であり曲げ强さは 6.1% 大で之により骨材粒子の形狀に基く噛合作用及表面摩擦係數の大なるを知る事が出來る．

（4） 瀝青混合物に及ぼす影響

瀝青鋪裝の如き可塑性混合物の力學的性質に及ぼす影響は特に顯著であつて從來の經驗によりて次の如き結論に達してゐる．

（a） 第一種混合物（骨材の總てが篩 No. 10 に殘留するもの）

粗粒骨材が主體をなし噛合作用により强度を保持するものであるから稜角を有する碎石のみを用ひ砂利は用ひられない．而して粒子間の接觸面が少いから摩擦抵抗が少く，瀝青材料で此抵抗を實質的に增大し得ないから粒子の稜角が磨損して安定して强度を增大せしむる要があり，爲めに軟質瀝青を用ふるの要がある．

（b） 第二種混合物（粗及細骨材を含有し前者が多量を占むるもの）

粗骨材が主體をなすものであるから噛合作用を有する碎石を用ふべきであるが，細骨材をも含有し移動抵抗大であるから砂利も用ひ得る．

（c） 第三種混合物（粗及細骨材を含有し後者が多量を占むるもの）

之は粗骨材が多量の細骨材の爲に分離せられてゐるから噛合作用をなす事が出來ない，從つて細骨材の品質は精選する要あるも粗骨材は單に混合物に潛入して粗面を呈せしめるのみであるから第一及第二種混合物の粗骨材の如き靱性硬度を必要としない．砂利も用ひ得るが，此場合はその丸味の爲に移動抵抗が小であるから碎石を選定する事が多い．

（d） 第四種混合物（細骨材のみより成り篩 No. 200 に殘留するもの多量を占むるもの）．

碎石屑と川砂との影響は未だ解決せられないで單に粒度に就て一定の標準を定め之に基きて設計を定めてゐる．

（e） 第五種混合物（細骨材のみを含有し篩 No. 200 通過量が多量を占むるもの）．

骨材は粒子形狀よりも粒度の影響大であり且その表面の性狀が重要であると考へられてゐる．

4. 粒子の形狀に關する諸說

形狀に關する物理的性質の研究は極めて近年に始り，ハーコン・ワッデルが 1933 年 4 月ウエントヲースが同 1933 年 4 月，エワルト・リーボルトが 1933 年 5 月，オットカーステルンが 1933 年 1 月發表してゐる．

（1） **スタイナーの說** (Steiner's thesis)

スタイナーは粒子形狀に就て次の說をたてた.

（a） 固體はその體積と表面積とが等しきものは同一形狀を有する.

（b） 體積と表面積との何れが異るも形狀は同一でない.

（2） **ハーコン・ワツデルの說** (Hakon Wadell 1932-July)

粒子の大はその徑により定まり形狀と體積とは全く獨立せる要素である. その徑の測定には未だ定說なく互に直角に一點で交る三軸方向で測定するものと, 互に直角に交るも一點に合致しない三方向で測定するものとがある. 後者は平均長, 平均幅と云はるゝものである.

通常長さは互に反對にある最も隔れる邊緣の點の距離とする. 之によれば立方形では對角線の長さと等しい, 從て等しき體積を有する球形と立方形と比較すれば後者は 1.40 倍の徑を有する.

沈降裝置による粒子の性質を研究するに當り, 形狀に關して次の術語を立てた.

（a） degree of true sphericity $=\frac{s}{S}$ 球形度

S: 粒子の實際の表面積, s: 粒子と等體積を有する球の表面積

（b） degree of roundness $=\frac{\Sigma\left(\frac{r}{R}\right)}{N}$ 丸味度

r: 一斷面に於ける隅緣部の半徑, R: 同斷面に外接する圓の半徑

N: 同斷面內の隅緣部の數

（c） image of solid $=\frac{\text{roundness}}{\text{sphericity}}$ 形象

球形度に對する丸味度の比を形象と稱した.

オーデン (Odén) は true nominal diameter を定めた. 之は沈降法による粒子の分類に當り球と體積を等しくし且沈降時間を等しくする粒子を球形としての徑 (equivalent diameter) をとつたものである.

（3） **ウエントヲース博士の說**

ウエントヲースは體積に對する表面積の比をとり之を表面比 (surface ratio: sphericity) と定め, 粒子の平均徑と各粒子の徑との差の平均値, 及粒子の平均凸度 (mean convexity) と各粒子の凸度との差の平均値を考へ之らを丸味示數 (roundness coefficient) とし之らは球形に對し 1 であり最小値を表し平面に對し最大なるものである.

（4） **シユメルツエル** (Schmölzer) **の說**

形狀示數 (Korn-index) を粒子の邊長の最大と最小との比で定め, 2 以下のものを ku-

bisch, 2～3 を gedrungen, 3～4 を gedrungen splittrig, 4～5 を gedrungen plattig, 5 以上を plattig 又は splittrig と定めた.

三軸方向の邊長を大さの順に a, b, c とし $a/b=n$, $c/b=m$ とし (n^2+m^2) を Form-ziffer と定めた.

ウイン大學のエワルド・リーボルト氏も, 粒子の形狀を plattig, splittrig, würfelig の三に分つた.

(5) 稜角係數, 不整形係數

筆者は昭和四年骨材の不均等係數に就て道路改良誌に述べ, 著書「土木材料」に稜角係數及不整形係數を擧げたが, 稜角係數は粒子の稜角性を球形と比較せる示數と考へ工學的性質として川砂は丸味に富みて 1.34, 石灰岩碎石屑は 2.72, セメントの標準砂は硅岩を複段破碎したるもので略立方形に近く最も稜角に富むから 5.41 となり, 不整形係數は粒子の扁平, 細長の割合を表す相關値として碎石屑は 4.4 で最も大であり, 立方形に近き標準砂は 3.56 で之に次ぎ, 川砂は 1.57 で最も小い結果を述べた.

II 粒度測定に及ぼす篩分の影響

5. 粒度測定に及ぼす篩分方法の影響

粒度測定には手篩法, フローテーブル法及振盪法を用ひ粒度測定値に及ぼす之らの影響を求め更に圓孔篩と角孔篩との影響を比較した.

手篩法は本所標準試驗方法に則り, 篩に試料を入れ約 0.5 秒毎に 45° 水平に之を廻轉振動せしめつゝ手を以て側面を敲きて篩分を行ふものである.

フローテーブル法はコングリートのウァカビリテイ測定用の臺上に篩を載せ之を 0.5cm の高さから 20 回落下せしめ, その衝撃により篩分けた.

振盪法はロータップを用ひ, 15 分間之を振盪せしめて篩分けたものである.

試料は砂利と碎石とにつき次のものを用ひた.

砂 利　東京府多摩川立川產.

碎 石　神奈川縣根府川產安山岩をジョー式碎石機で破碎したもの.

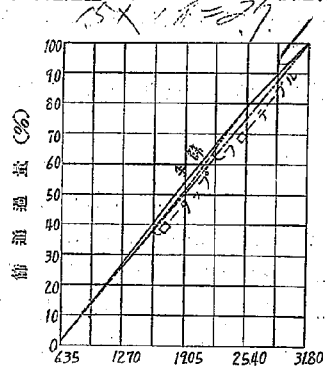
砂　　東京府多摩川產を主とし之に江戶川, 相模川, 荒川產を比較した.

碎石屑　神奈川縣根府川產安山岩をジョー式碎石機で破碎したもの.

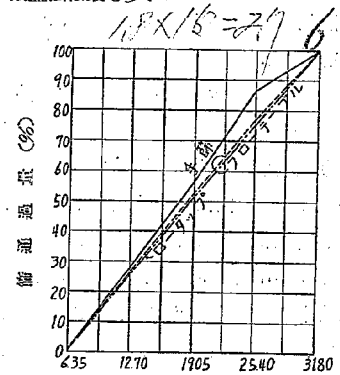
(1) 三種の篩分方法の比較

(a) 砂利と碎石とにつき三種の篩分方法による粒度測定値を求むれば第 3 圖及第 4 圖の如し.

砂利と碎石とは元來その粒度を異にしてゐるから粒子形狀の影響は測知し得ないが手篩法は最も通過量多くフローテーブル法之につぎ，振盪法は最も少い．



第 3 圖　砂　利



第 4 圖　碎　石

5 種の篩による粒度の測定値から粒度係數を求むる方法と同樣にして粒度示數として算出すれば第3表の如く，何れも振盪法によるものが示數の大なるを表し篩通過の不充分なるを示してゐる．

第 3 表
粗骨材の粒度示數

篩分方法	砂利		碎石	
	示數	比	示數	比
手篩法	2.421	1.00	2.289	1.00
フローテーブル法	2.439	1.01	2.439	1.065
振盪法	2.482	1.02	2.466	1.075

(b)　細骨材としての川砂は乡摩川中流產のもの，碎石屑は安山岩をジョー式碎石機を用ひて一段破碎せるものをとり，標準篩 No. 8, No. 10, No. 20, No. 30, No. 40, No. 50 No. 80, No. 100, No. 200 の9種を用ひて手篩法，フローテーブル法及振盪法により篩分を行つた，第5圖の如し．

手篩法によるものは通過量最も多く，今各篩に殘留した割合を合計したものを粒度示數として示せば第4表の如く，何れも近似してゐるが手篩法のもの最も小である．

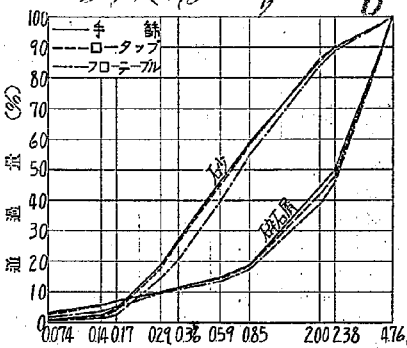
碎石屑に就て粒度分布を重量，容積及粒子數に就て求むれば第5表の如く，後者は著しく異つてゐる．骨材の性質は容積分布による粒度を基として考ふべきであるが之と近似し

て且簡易なるために重量分布をとるのが普通である.

(2) 手篩法に要する仕事量

手篩法は篩分に要する仕事量を測定し得ないから, フローテーブル法で落下回數により仕事量を測定して篩分けたものと比較すれば第6表及第6圖の如し.

試料は砂利と碎石との手篩法によりて粒度を一定とせるものにつき各 2.2kg をとりて之を行つた.



第 5 圖

手篩法は特に細長及扁平なる粒子を通過せしむるが, フローテーブル法は之らの粒子が通過し難く, 從て後者の通過量幾分少く殊に碎石に於てその影響が大であり, 砂利では落下 30 回で略手篩法の結果と一致するも碎石では同 120 回に及ぶも尙手篩法に及ばない, 之は粒子形狀の影響である.

細骨材に就て手篩せる川砂と碎石屑とを同樣に試驗すれば第7圖の如し.

砂は碎石屑に比して通過し易いが, 細骨材は各粒子の接觸面多く摩擦大であるから落下 50 回に達するも尙手篩法に及ばない.

第 4 表　細骨材の粒度示數

篩分方法	砂		碎石屑	
	示數	比	示數	比
手篩法	6.700	1.00	8.389	1.00
振盪法	6.738	1.007	8.450	1.007
フローテーブル法	6.946	1.038	8.570	1.020

第 5 表

種別 ＼ 篩目 (mm)	4.76	2.38	2.00	0.85	0.59	0.36	0.297	0.177	0.149	0.074
止% 重疋	0	51.01	55.67	81.57	85.92	89.10	90.39	93.44	94.52	97.26
容積	0	51.97	56.69	82.68	87.14	90.29	91.60	94.49	95.28	97.64
粒子數	0	0.10	0.12	0.95	1.57	2.88	3.96	9.81	15.67	25.15

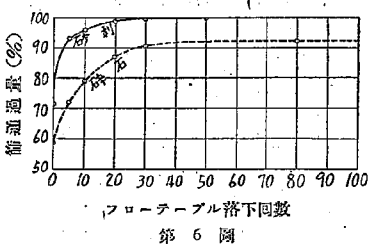
(3) 手篩法の操作の性質

手篩法の力學的性質を明かにする爲に篩 No. 30 を通過し同 No. 40 に殘留せる細骨材につきその通過に要する仕事及通過せる粒子の 1gm に含まるゝ粒子數を測定し, 手篩法

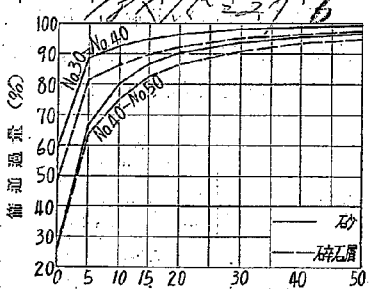
第　6　表

手篩とフローテーブル法篩による通過量（%）

篩目寸法 (mm)	手篩法	フローテーブル法落下回数 0	5	10	20	30	50	80	120
砂利									
31.75～25.40	22.7	8.4	24.3	22.1	26.6	25.5	23.9	23.8	—
25.40～19.05	22.7	25.6	21.6	21.5	20.0	23.5	23.3	23.3	—
19.05～12.70	22.7	13.8	21.7	22.3	21.3	19.2	21.3	22.1	—
12.70～ 6.35	22.7	23.6	20.2	23.5	23.6	23.7	23.3	22.3	—
6.35～ 4.76	9.2	3.3	5.8	5.9	7.2	8.0	8.2	8.5	—
計	**100.0**	**74.7**	**93.6**	**95.3**	**98.7**	**99.9**	**100.0**	**100.0**	—
碎石									
31.75～25.40	22.7	13.9	15.2	13.2	15.3	17.2	18.1	14.7	15.1
25.40～19.05	22.7	15.4	21.5	20.8	21.1	23.0	22.3	23.2	22.5
19.05～12.70	22.7	16.9	24.0	20.5	23.5	23.1	20.5	21.6	22.7
12.70～ 6.35	22.7	10.6	13.6	19.5	19.5	20.5	22.2	21.7	22.9
6.35～ 4.76	9.2	1.6	5.3	5.8	6.2	6.8	7.5	8.4	8.4
計	**100.0**	**58.4**	**79.6**	**79.8**	**85.6**	**90.6**	**90.6**	**91.6**	**91.6**



第　6　図



第　7　図

の操作の性質を求めたものは第7表の如し，通常の手篩法は Ⅰより Ⅴ までの操作を行つてゐる．

篩分の仕事量の大なるに從ひ粒子の徑大となり單位重量當りの粒子數は減ずる．

碎石屑は砂に比し不規則形狀を有するから粒子徑は小である．

6　粒度測定に及ぼす篩の影響

粗骨材用角孔篩と圓孔篩との篩目の邊長及面積を比較すれば次の如く，殊に角孔篩は網目製作の際の不均一を免れないから許容誤差を有するものにつき比較すれば，最長徑の比 1.56 面積比 1.54 に達し，從て後者による通過量大であるべきである．

	孔徑又は邊長	最長徑	面　積
圓　孔　篩	d.	d.	$0.785d^2$
角　孔　篩	d.	$1.42d$.	d^2
同　極　値	$1.1d$.	$1.56d$.	$1.21d^2$

砂利と碎石に就て篩分を試驗すれば第8表及第8圖の如く，その粗細混合の割合を示すに粒度係數（fineness modulus）と同樣の性質の粒度示數として示せば，角孔篩と圓孔篩とによる結果の比は，砂利に於て 1.21 碎石に對して 1.27 で何れも圓孔篩による結果が大であり，角孔篩は篩目の面積大であるから通過する割合も大である．

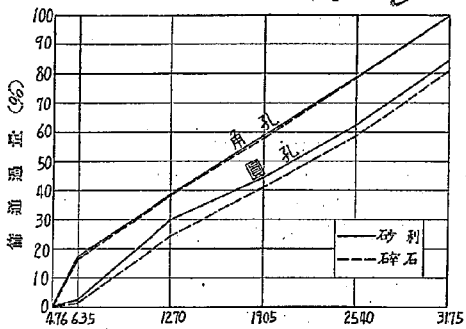
第　7　表

粒度 No. 30～No. 40 のもの＞手篩法

手篩操作順序		砂				碎石層			
		篩通過 (%)	粒子數/gm	粒子體積 10^{-4}(cc)	球として平均徑 (mm)	篩通過 (%)	粒子數/gm	粒子體積 10^{-4}(cc)	球として平均徑 (mm)
I	試料を入れて其儘通過	5.55	5,954	0.64	0.497	37.8	7,104	0.52	0.463
II	靜に篩を 45° 左右に傾ける 2sec 毎に100回反覆す	3.03	4,473	0.85	0.559	47.2	5,750	0.64	0.497
III	篩を水平面で 90°振る0.5 sec 毎に 100 回	3.5	3,126	1.22	0.615	3.9	3,565	1.04	0.583
IV	篩の側面を手で敲く 100 回	7.3	3,105	1.23	0.617	6.2	3,141	1.18	0.608
V	側面を手で敲き 45° 振る 0.5 sec 毎に 100 回	1.3	2,789	1.37	0.639	0.7	2,976	1.24	0.619
VI	上緣を手で敲く 0.5 sec 毎に 150 回	0.8	2,769	1.38	0.641	0.17	2,918	1.27	0.623
VII	浮游して殘留するもの	0.8	2,800	1.36	0.638	0.12	2,394	1.54	0.665
VIII	篩目に定着せるもの	0.5	3,109	1.23	0.617	0.13	3,870	0.95	0.567
平　均			**5,091**	**0.75**	**0.524**		**5,883**	**0.63**	**0.494**

第 8 表　角孔篩，圓孔篩の粒度示數

篩目寸法 (mm)	砂利		碎石	
	角孔篩	圓孔篩	角孔篩	圓孔篩
31.75	0	15.43	0	19.10
25.40	21.16	37.95	21.31	41.52
19.05	41.58	55.83	42.25	58.93
12.70	61.75	70.09	62.84	75.76
6.35	82.94	97.66	83.59	98.42
4.76	100.00	100.00	100.00	100.00
粒度示數	**3.07**	**3.76**	**3.09**	**3.93**
粒度示數比		**1.21**		**1.27**



第 8 圖

7. 篩を通過する粒子の大さと篩目との關係

篩目を通過する粒子はその何れかの邊長及何れかの軸に沿ふ斷面積が篩目の邊長及面積より小なるを要し，之らが大なるものは最も安定なる位置より粒子を移動轉動せしめて，始めて通過せしめ得るから形狀不規則のものは篩分に要する仕事量も亦大である．

篩はその製作に當り免れ難き誤差を有するから，許容誤差を有するものとしての篩目の大さは第 9 表の如し．

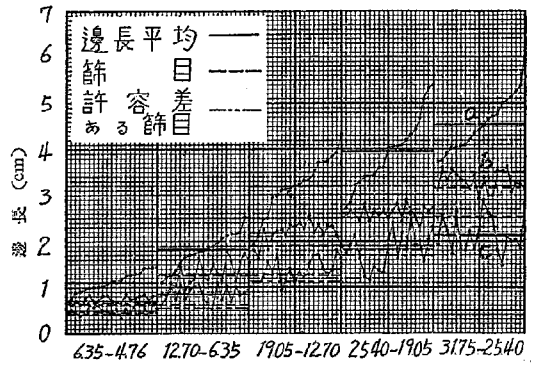
第 9 表　篩 目 の 大 さ

篩目寸法 (吋)	篩目寸法 (mm)	篩目面積 (mm²)	許容製作誤差を有する篩目 邊長 (mm) 最大	邊長 (mm) 最小	面積 (mm²) 最大	面積 (mm²) 最小
1¼	31.75	1,008.1	34.93	28.58	1,219.8	816.5
1	25.40	645.2	27.94	22.86	780.6	522.6
¾	19.05	362.9	20.96	17.15	439.1	294.0
½	12.70	161.3	13.97	11.43	195.2	130.6
¼	6.35	40.3	6.99	5.72	49.8	32.7
No. 4	4.76	22.7	5.24	4.28	27.4	18.4

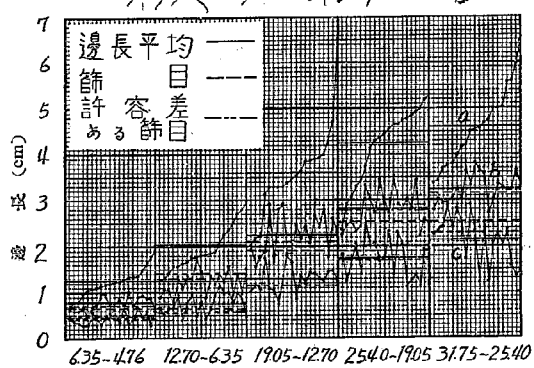
(1) 粒子の邊長と篩目の邊長との關係

通常の手篩法による砂利と碎石とのすき法 31.75～25.4, 25.4～19.05, 19.05～12.7, 12.7～6.35, 6.35～4.76mm のものに付き代表的粒子を 20 箇宛 2 組を選び，その粒子の各邊長 a, b, c を測定し，平均邊長を求め，之と篩目の邊長とを比較すれば第 9 圖及第 10 圖の如し．

粒子の三邊の平均長と篩目との關係は第 11 圖の如く，最長邊は勿論中邊も概して篩目より大で通過し難く，最小邊は大篩を通過し小篩には概して殘留するも只 31.75～25.4mm のものは小篩より小で尙通過し得る事を示し篩分の充分ならざるを示すが，之は粒子の容積大であるから，小なるものと同樣の衝撃を加ふる篩分法ではその移動轉動の充分ならざる事を示し，粒子の大さに應じ篩分仕事量を加減する要あるを示すものである．



第 9 圖 砂利

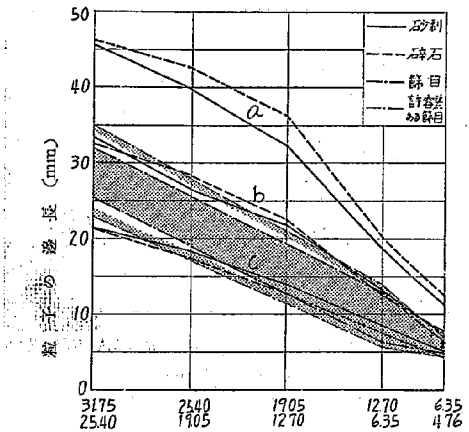


第 10 圖 碎 石

(2) 粒子の斷面積と篩目の面積との關係

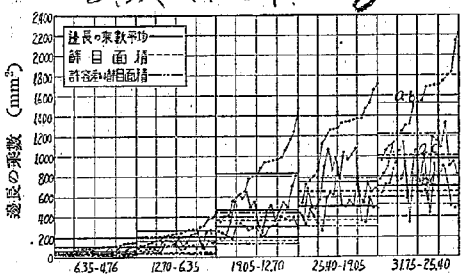
篩を通過するには粒子の三軸の何れかの方向の斷面積も亦篩目の面積より小なるを要するから前記同樣に粒子の斷面積との關係を求むれば第 12 圖及第 13 圖に示すが如し.

砂利, 碎石共に最大斷面積の殆ど大部は大篩を通過し得ない. 中斷面積の大部は大篩を通過し小篩には殘留する事を示し, 最小斷面積の一部は尙小篩を通過するものあるも殆ど大部は殘留する事を示し, 通過する斷面積の方向は粒子の不安定なる方向にあるから, 篩分に當り粒子を移動轉動せしめて一時的にかゝる不安定なる位置に置くを要するは明かである.

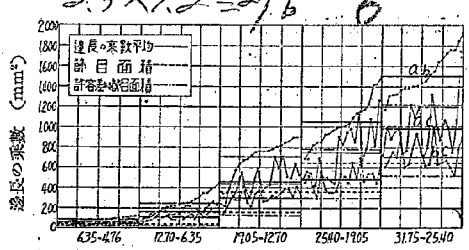


第 11 図

各粒度の粒子の平均辺長と篩目辺長との比較



第 12 図　　砕　石



第 13 図　　砂　利

第　10　表

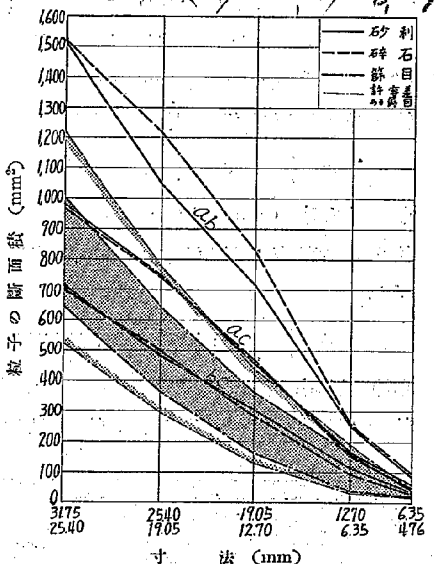
篩目寸法 (mm)	粒子斷面積 (mm²) 砂利 ab	砂利 ac	砂利 bc	碎石 ab	碎石 ac	碎石 bc
31.75～25.40	1,514.2	977.7	711.1	1,517.7	968.7	697.8
25.40～19.05	1,045.5	741.5	482.5	1,211.4	741.5	495.8
19.05～12.70	713.0	459.3	304.0	825.0	465.4	283.7
12.70～ 6.35	249.9	162.8	115.1	255.7	155.4	95.8
6.35～ 4.76	83.9	58.1	37.9	96.1	55.2	32.2

21×29=609　649

各寸法の粒子の各軸方向の平均斷面積は第 10 表に示すが如く，之と篩目の面積とを比較すれば第 14 圖の如し．

最大斷面積は大篩を通過し得ざるも，中斷面積の大部分は通過し小篩に止り，最小斷面積は何れも大篩を通過し小篩に止る事を示してゐる．

碎石は砂利に比し最大斷面積がより大であるから，篩を通過せしむる場合にその安定位置から轉動せしむるに要する仕事量も亦大なるを要する事は明である．



第 14 圖　粒子の斷面積と篩目面積との比較

III　粒子の形狀示數

8. 概　說

骨材の粒子は何れも不規則なる形狀を有し一定しないが，概して砂利は岩石が長年月に亘る氣象作用によりて崩壞し，水流に伴つて粒子が互に摩擦を受け稜角を磨損し丸味を帶ぶるに至れるもので，從て河川の下流に赴くに從ひ漸次その丸味度を增すものである．

碎石は石片が破碎機に於て，その側面に加壓衝撃を受け破碎せられたものであるから，一般に扁平，細長の形狀を有し稜角に富み，之を再破碎したものは之らの石片がその長邊

の方向で破碎せらるゝから，邊長比は次第に1に接近するに至るものである．

粒子の形狀を表すに當りその三軸方向の長さを夫々 a, b, c とし之より次の如き示數を求めた．

（1） 容積係數 (coefficient of volume)

粒子の容積を實測し之と三邊の長を等しくする直六面體の容積との比を以て表す．

$$K=V/abc \qquad K: \text{容積係數}, \ V: \text{粒子の實容積}, \ a, b, c: \text{粒子の三邊の長さ}.$$

（2） 球形率 (degree of sphericity)

粒子の實測容積と，之と三邊の長を等しくする橢圓體の容積との比を以て表す．

$$R=6V/\pi abc \qquad R: \text{球形率}, \ V: \text{粒子の容積}.$$

（3） 細長率 (index of elongation)

粒子の最小邊と最長邊との長の比で表す．

$$e=\frac{a}{c} \qquad e: \text{細長率}, \ a: \text{最長邊の長}, \ c: \text{最小邊の長}.$$

（4） 扁平率 (index of flatness)

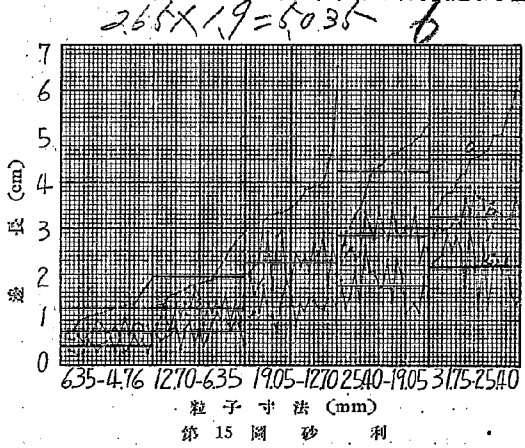
粒子の最大斷面積と最小邊長との比を以て表し，粒子の最も安定なる位置に於ける厚さを示す．

$$f=\frac{ab}{c} \qquad f: \text{扁平率}, \ ab: \text{最大斷面積}, \ c: \text{最小邊の長}.$$

（5） 方形率 (degree of square)

粒子の最長邊と中邊との比で表し，粒子の最も安定なる位置に於ける俯瞰面の方形度を表す．

$$s=\frac{a}{b} \qquad s: \text{方形率}$$



第 15 圖 砂 利

9. 粒子の邊長

砂利と碎石との篩 $1\frac{1}{2}$～1吋，1～$\frac{3}{4}$吋，$\frac{3}{4}$～$\frac{1}{2}$吋，$\frac{1}{2}$～$\frac{1}{4}$吋，$\frac{1}{4}$～No. 4 のものに就いて代表的粒子を20箇宛2組とりて各邊長を測定しその平均邊長を求めたるものは第15圖及第16圖に示すが如し．

10. 粒子の平均徑

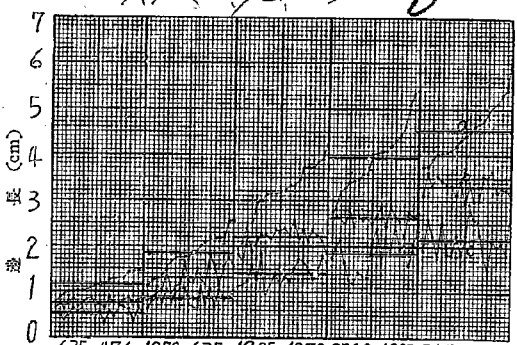
粒子の通過する篩と殘留する篩との篩目からその平均徑を算定するには次の方法が考へられる.

（a） 篩目の平均値，獨逸 *DIN* の規定

$$d_m=\frac{d_1+d_2}{2}$$

d_m: 平均徑,

d_1, d_2: 通過篩と殘留篩との目.



第 16 圖 碎 石

（b） 篩目の相乘積を篩目の平均値を以て除したるもの卽ち Pöpel の提案

$$d_m=\frac{2d_1d_2}{d_1+d_2}$$

（c） 篩目の面積の相乘積を篩目の平均値で除したるもの>立方根卽ち Andreasen の提案

$$d_m=\sqrt[3]{\frac{2d_1^2d_2^2}{d_1+d_2}}$$

粒子の三邊の實測長から第一章第二節に述べたる方法を用ひて算定したる平均徑と之らの篩目より算定したものとを比較すれば第 11 表及第 12 表の如し.

粒子邊長の實測値から求めた6種の平均徑は何れも篩目の大さから求めたる3種の徑よりも大であるは明であつて，之らを粒子の實測體積から球形と考へたる場合の徑と比較すれば篩目の算術平均値より少しく大であり，粒子の外接直方體の體積をその表面積で除したものより少しく小であるが略之らに類似してゐる.

砂利は碎石に比してその平均徑が幾分小なるは稜角を失ひ丸味を有するが爲である. その徑の比は第 13 表に示すが如し.

第 11 表

砂 利

篩目寸法 (mm)	篩目平均寸法 (mm)			粒子實測邊長 (mm)			粒子實測平均徑 (mm)						容積より求めたる
d_1 d_2	$\frac{d_1+d_2}{2}$ (7)	$\sqrt[3]{\frac{d_1^3\times d_2^2}{\frac{d_1+d_2}{2}}}$	$\frac{2d_1\times d_2}{d_1+d_2}$	a	b	c	$\frac{a+b}{2}$ (1)	$\sqrt{ab}$ (2)	$\frac{a+b+c}{3}$ (3)	$\sqrt{\frac{ab+ac+bc}{3}}$ (4)	$\sqrt[3]{abc}$ (5)	$\frac{3abc}{ab+ac+bc}$ (6)	徑 (mm)
31.75～25.40	28.575	28.382	28.267	45.5	33.2	21.5	39.35	38.91	33.40	32.71	31.94	30.53	29.75
25.40～19.05	22.225	21.920	21.829	39.7	26.4	18.4	33.05	32.33	28.17	27.50	26.89	25.71	25.50
19.05～12.70	15.875	15.449	15.280	32.3	21.9	14.0	27.10	26.70	22.73	22.18	21.63	20.59	18.80
12.70～6.35	9.525	8.804	8.467	18.5	13.0	8.7	15.75	15.81	13.40	13.26	13.04	12.60	10.40
6.35～4.76	5.555	5.481	5.441	11.3	7.4	5.1	9.35	9.16	7.93	7.74	7.59	7.29	6.60

第 12 表

碎 石

篩目寸法 (mm)	篩目平均寸法 (mm)			粒子實測邊長 (mm)			粒子實測平均徑 (mm)						容積より求めたる
d_1 d_2	$\frac{d_1+d_2}{2}$ (7)	$\sqrt[3]{\frac{d_1^3\times d_2^2}{\frac{d_1+d_2}{2}}}$	$\frac{2d_1\times d_2}{d_1+d_2}$	a	b	c	$\frac{a+b}{2}$ (1)	$\sqrt{ab}$ (2)	$\frac{a+b+c}{3}$ (3)	$\sqrt{\frac{ab+ac+bc}{3}}$ (4)	$\sqrt[3]{abc}$ (5)	$\frac{3abc}{ab+ac+bc}$ (6)	徑 (mm)
31.75～25.40	28.575	28.382	28.267	46.2	32.6	21.5	39.40	38.96	33.43	32.58	31.64	29.83	27.8
25.40～19.05	22.225	21.920	21.829	42.5	28.3	17.5	35.40	34.81	29.43	28.57	27.65	25.93	20.4
19.05～12.70	15.875	15.449	15.280	36.1	22.5	12.8	29.30	28.72	23.80	22.91	21.90	20.02	17.6
12.70～6.35	9.525	8.804	8.467	20.2	12.5	7.5	16.35	15.99	13.40	13.00	12.65	11.99	10.3
6.35～4.76	5.555	5.481	5.441	12.6	7.5	4.3	10.05	9.80	8.13	7.82	7.48	6.83	5.8

第 13 表

碎石と砂利との平均徑の比

篩目寸法 (mm)	$\frac{a+b}{2}$	$\sqrt{ab}$	$\frac{a+b+c}{3}$	$\sqrt{\frac{ab+ac+bc}{3}}$	$\sqrt[3]{abc}$	$\frac{3abc}{ab+ac+bc}$
31.75～25.40	1.001	1.001	1.001	0.996	0.991	0.977
25.40～19.05	1.071	1.077	1.045	1.039	1.029	1.009
19.05～12.70	1.081	1.076	1.047	1.033	1.012	0.972
12.70～ 6.35	1.038	1.011	1.000	0.980	0.970	0.952
6.35～ 4.76	1.075	1.070	1.025	1.010	0.986	0.937
平 均	**1.053**	**1.047**	**1.024**	**1.012**	**0.998**	**0.969**

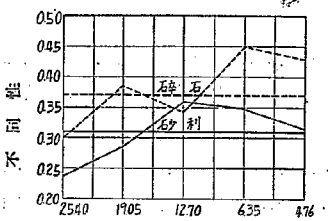
11. 形狀不同率

砂利と碎石との前記5種のものにつき粒子邊長の平均値，之と最長邊及最小邊との差を求め，之らの極値と平均邊長との比を形狀不同性を表すものとして求むれば第14表及第17圖の如し．

一般に碎石は邊長の變化大であり均一性を缺くを明に示してゐる．各邊の不同性の平均値を不同率として求むれば砂利は 0.309 碎石は 0.370 で約 1.20 の比を示してゐる．三邊に就て考ふれば中邊 b の變化が比較的小で，最小邊 c の變化が最も大である．

第　14　表

篩目寸法及種別 (mm)		砂利			碎石		
		a	b	c	a	b	c
31.75～25.40	平均長 (cm)	4.55	3.32	2.15	4.62	3.26	2.15
	極値との差 (+)	1.59	0.34	0.75	1.87	0.56	0.78
	極値との差 (−)	0.80	0.36	0.68	1.22	0.50	0.95
	不同性	0.265	0.105	0.340	0.335	0.162	0.400
25.40～19.05	平均長 (cm)	3.97	2.64	1.84	4.25	2.83	1.75
	極値との差 (+)	1.45	0.26	0.77	1.06	0.72	0.37
	極値との差 (−)	1.24	0.44	0.65	1.88	0.59	1.14
	不同性	0.338	0.132	0.386	0.347	0.231	0.430
19.05～12.70	平均長 (cm)	3.23	2.19	1.40	3.61	2.25	1.28
	極値との差 (+)	1.12	0.36	0.92	1.15	0.70	0.54
	極値との差 (−)	1.30	0.56	0.46	0.91	0.69	0.57
	不同性	0.375	0.211	0.492	0.285	0.309	0.435
12.70～ 6.35	平均長 (cm)	1.85	1.30	0.87	2.02	1.25	0.75
	極値との差 (+)	0.72	0.49	0.24	0.86	0.51	0.42
	極値との差 (−)	0.73	0.46	0.26	0.68	0.47	0.38
	不同性	0.393	0.365	0.287	0.430	0.390	0.532
6.35～ 4.76	平均長 (cm)	1.13	0.74	0.51	1.26	0.75	0.43
	極値との差 (+)	0.49	0.23	0.15	0.63	0.24	0.21
	極値との差 (−)	0.31	0.18	0.17	0.56	0.19	0.22
	不同性	0.348	0.285	0.308	0.476	0.290	0.500
	不同性	0.344	0.220	0.363	0.375	0.276	0.459
平均	不同率	0.309			0.370		



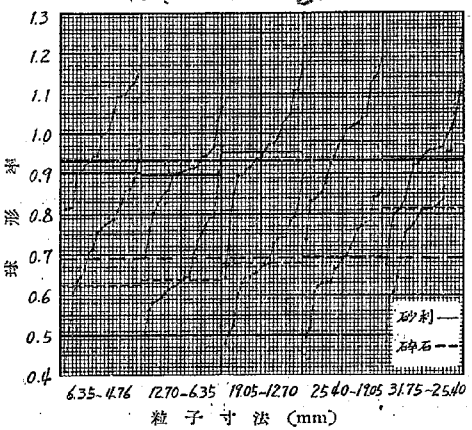
第 17 圖

12. 球形率

同樣に砂利と碎石とにつき球形率を求むれば第 18 圖の如し.

砂利は丸味を有し楕圓體に近似してゐから球形率大であり，三軸方向の長さを等しくする楕圓體より容積大なるものありて球形率 1.3 に達し直方體に近似するものもある.

碎石は稜角を有し細長且扁平であるから球形率も小である.

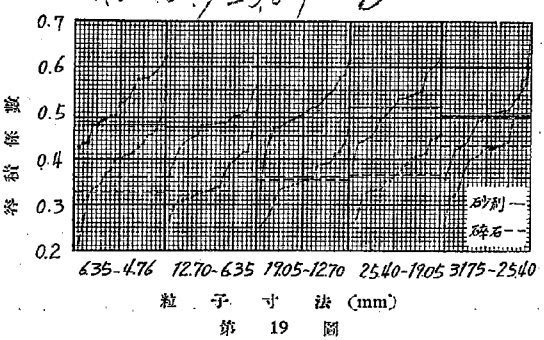


第 18 圖

13. 容積係數

三軸方向の長を等しくする直方體の容積と比較して容積係數を求むれば第 19 圖の如くその平均値は第 20 圖の如し.

球形率と同樣に砂利の容積係數は碎石より著しく大であり，その最高値は 0.68，平均 0.49 に達し，碎石の平均値は 0.36 に過ぎない.



第 19 圖

14. 細長率

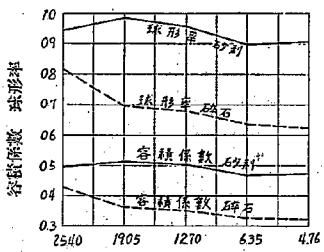
細長率は砂利と碎石とに於て著しく異り，碎石は極めて大であつて，最大値 6 以上に達し，平均 2.8 である．砂利は最大値 3 を超ゆるものあるも平均値は 2.2 である，第 21 圖に示すが如し.

碎石の細長率は一段破碎法をとれるものゝ特質を示してゐる．二段破碎法を行へるもの

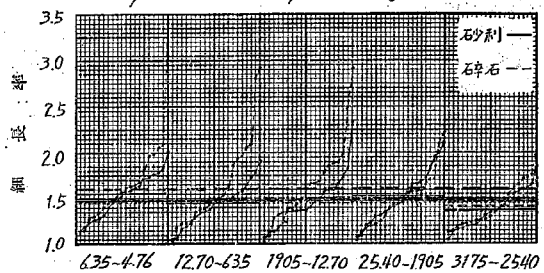
は粒徑小なるに從ひ細長率も亦減ずるものである.

15. 方 形 率

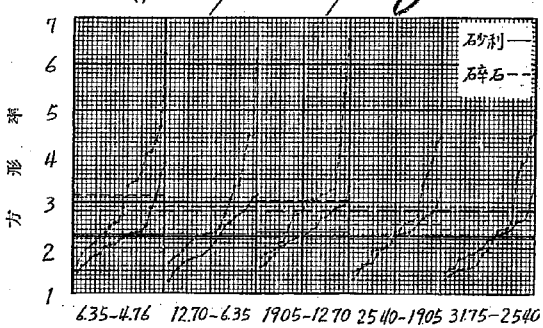
方形率は細長率程著しく相違を表はさないが碎石が砂利よりも大であり最大 3.0 平均 1.70 を示し砂利は最大 2.0 平均 1.4 に過ぎない, 第 22 圖に示すが如くその平均値は第 23 圖に示すが如し.



第 20 圖



第 21 圖

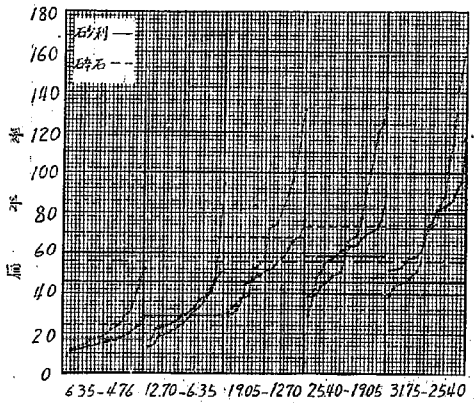


第 22 圖

16. 扁 平 率

扁平率は單位 mm で表すから各寸法のものに就き各々異るが, 碎石は平均 58mm, 砂

利は同 43mm を示し，碎石はその形狀から考へて不規則なるを示してゐる．第 24 圖に示すが如し．

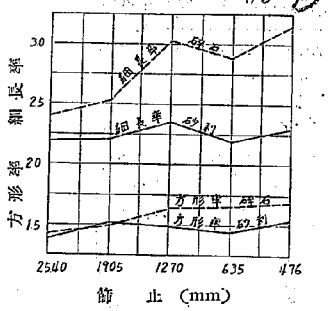


第 24 圖

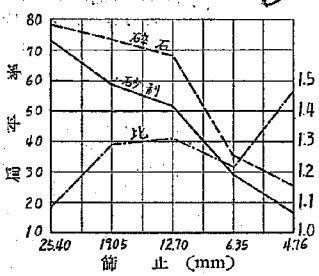
扁平率の平均値を求むれば第25圖に示すが如く碎石に對する砂利の比は何れも 1 以上であつて粒徑小なるに從ひ增加し，碎石の粒徑小なるもの程，扁平なるを示してゐる．これ一段破碎を受けたる碎石の特質である．

17. 砂利と碎石との形狀示數の比較

砂利と碎石とに就て各粒度のものゝ形狀示數の平均値を求むれば第 15 表及第 16 表の如し．



第 23 圖



第 25 圖

第 15 表 砂利の形狀示數

節目寸法 (mm)	邊長 (cm) a	b	c	實測容積 (cc)	不同性	容積係數 (K)	球形率 (R)	細長率 (e)	方形率 (s)	扁平率 (f)(mm)
31.75～25.40	4.55	3.32	2.15	15.68	0.236	0.493	0.941	2.19	1.37	73.07
25.40～19.05	3.97	2.64	1.84	9.90	0.285	0.514	0.981	2.20	1.52	58.76
19.05～12.70	3.23	2.19	1.40	5.02	0.359	0.501	0.957	2.35	1.48	51.84
12.70～ 6.35	1.85	1.30	0.87	1.02	0.348	0.469	0.897	2.19	1.44	29.23
6.35～ 4.76	1.13	0.74	0.51	0.21	0.314	0.474	0.906	2.30	1.54	16.66
平均					**0.309**	**0.490**	**0.936**	**2.25**	**1.47**	**45.91**

球形及立方體と比較すれば第 17 表の如く，一般に碎石は砂利に比し形狀不規則なるを示し，その比は不同率 1.20，球形率 1.35，細長率 1.244，扁平率 1.22，方形率 1.072 を示してゐる．

第　16　表

碎石の形狀示數

篩目寸法 (mm)	邊長 (cm) a	b	c	實測容積 (cc)	不同性	容積係數 (K)	球形率 (K')	細長率 (e)	方形率 (s)	扁平率 (f)(mm)
31.75～25.40	4.62	3.26	2.15	12.95	0.299	0.428	0.817	2.39	1.42	78.28
25.40～19.05	4.25	2.83	1.75	7.64	0.330	0.366	0.699	2.53	1.49	73.80
19.05～12.70	3.61	2.25	1.28	3.66	0.343	0.356	0.680	3.03	1.64	68.07
12.70～ 6.35	2.02	1.25	0.75	0.68	0.450	0.329	0.638	2.88	1.65	35.75
6.35～ 4.76	1.26	0.75	0.43	0.13	0.429	0.327	0.625	3.15	1.69	24.43
平　均					**0.370**	**0.361**	**0.692**	**2.80**	**1.57**	**56.06**

第　17　表

碎石と砂利との形狀示數

種　別	不同率	容積係數	球形率	細長率	方形率	扁平率 (mm)
球　形	0.000	0.523	1.000	1.000	1.000	—
立方體	0.000	1.000	1.910	1.000	1.000	$1a$
立方體	—	—	—	1.410	1.000	$2a$
砂　利	0.309	0.4902	0.9364	2.246	1.470	45.912
碎　石	0.370	0.3612	0.6918	2.796	1.574	56.066
同　比	1.20	0.74	0.74	1.224	1.072	1.220
同　逆　比	—	1.35	1.35	—	—	—

IV　骨材の見掛比重及び空隙率に及ぼす裝入方法の影響

18. 輕裝，密裝及中位裝の標準方法

骨材の見掛比重及空隙率はその裝入方法により著しく異るから，手篩法により篩分けた試料に就き（a）輕く裝入したる場合，（b）裝入に要する仕事量を變へて裝入したる場合，（c）密に詰込みたる場合の各狀態で之を測定し，以て裝入方法の見掛比重及空隙率に及ぼす影響を求めた．

（1）　標準密裝測定法

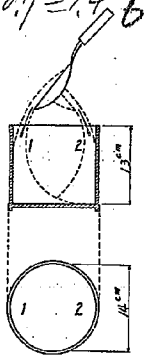
本所規定の標準試驗方法に則りて行ひ，粗骨材に對しては鐵製圓筒內徑 24cm，高さ 22.1

cm, 容量 10lit のものを用ひ，試料を3回に分ちて略等量宛裝入し徑 1.5cm，長さ 40cm の鐵棒を以て毎回一樣に 20 回突きて詰込みたる狀態で測定した.

細骨材に對しては鐵製圓筒內徑 14cm，高さ 13cm 容量 2 lit のものを用ひ同樣に行つた.

（2） 標準輕裝測定法

骨材を投入撒布又は併立する場合の輕裝狀態を表すものとして，粗骨材に對しては密裝法と同じ容器を用ひ第26圖に示すが如く，容量約1kgのスコップを用ひ試料を左右交互に壁面に沿ふて圓筒の上部から速かに落し入れ，上面を幾分高く裝入し，裝入了れる後靜に過剩分を除きて平に均し重量を測定する.



第 26 圖

細骨材に對しては眞鍮製圓筒內徑1.58cm, 高さ 5.04cm, 容量9.861cc のものを用ひ，試料は容量約 1.5cc の小匙を用ひて左右交互に內壁面に沿ふて裝入し，注意して上面を搔均したる後に之を測定した.

（3） 中位裝測定法

輕裝と密裝との中間に位する裝入狀態を示すものとして，粗骨材に對しては前記同樣の容器を用ひ，コンクリートのウァカビリチー測定用フローテーブル臺上に於て，落下回數に伴ふ裝入程度に應ずる數種の中位裝の狀態を定めて測定した.

細骨材に對しては輕裝測定用容器の上部に高さ 2cm の鉢金をつけ，輕裝法により裝入し，モルタルのウァカビリチー測定用フローテーブル臺上に載せ，落下高さ 0.5cm とし一定回數上下せしめた後その鉢金を除去し上面を均して重量を測定した.

19. 骨材の見掛比重に及ぼす裝入方法の影響

骨材を手篩法により篩分けたる試料をとり標準輕裝及中位裝は 5 回試驗の平均をとり，標準密裝は 3 回試驗の平均をとりて見掛比重を測定した.

（1） 粗骨材の見掛比重

試驗結果は第 18 表に示すが如し.

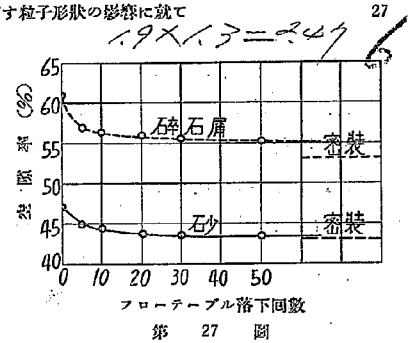
碎石が砂利に比し見掛比重著しく小なるは，粒子形狀が不規則にして空隙大なるを示すものである.

（2） 中位裝の性質に關する細骨材の試驗

中位裝の性質を明にするために細骨材の篩 No. 30 を通過し同 No. 40 に殘留するものをとり，フローテーブル落下數に伴ふ見掛比重の增加を標準輕裝及密裝の狀態と比較すれ

ば第 19 表及第 27 圖の如し.

砂は碎石屑に比し見掛比重著しく大にして何れも落下數の增加に伴ひ比重增加し次第に密裝に近似するに至り，同落下 50 の場合に殆ど密裝と一致するも，碎石屑が尙密裝狀態に達し得ないのは，後者の密裝々入の際は粒子が搗棒により紛碎されて次第に細粒となりその粒度を變化するが爲であり，中位裝ではその粒度が始終一定に止るからであると思はれる.



第　27　圖

第　18　表
見　掛　比　重　(kg/lit)

篩目寸法 (mm)		輕裝	中位裝 フローテーブル落下回數 5	10	20	30	50	密裝
砂利	31.75～25.40	1.408	1.447	1.483	1.512	1.537	1.558	1.622
	25.40～19.05	1.409	1.449	1.484	1.528	1.554	1.569	1.624
	19.05～12.70	1.455	1.505	1.534	1.570	1.586	1.607	1.648
	12.70～ 6.35	1.497	1.558	1.585	1.609	1.625	1.644	1.650
	6.35～ 4.76	1.499	1.560	1.585	1.606	1.618	1.632	1.638
	平　均	**1.454**						**1.636**
碎石	31.75～25.40	1.183	1.229	1.277	1.296	1.313	1.334	1.403
	25.40～19.05	1.192	1.254	1.286	1.312	1.329	1.349	1.432
	19.05～12.70	1.211	1.273	1.306	1.331	1.352	1.368	1.440
	12.70～ 6.35	1.232	1.292	1.326	1.362	1.375	1.394	1.440
	6.35～ 4.76	1.244	1.315	1.347	1.369	1.384	1.403	1.425
	平　均	**1.212**						**1.428**

第　19　表
篩 No. 30～No. 40 の見掛比重に及ぼす裝入方法の影響

種別		輕裝	中位裝 フローテーブル落下回數 5	10	20	30	50	密裝
砂	見掛比重(gm/cc)	1.387	1.447	1.459	1.476	1.478	1.481	1.491
	空隙率 (%)	47.2	44.9	44.5	43.8	43.7	43.6	43.3
碎石屑	見掛比重(gm/cc)	1.067	1.172	1.188	1.199	1.211	1.222	1.278
	空隙率 (%)	60.9	57.0	56.5	56.1	55.6	55.2	53.2

（3） 細骨材の見掛比重

輕裝は粗骨材と同樣にとり，中位裝は落下數 10 回の狀態をとり，密裝は粒子が搗棒により次第に紛碎され粒度を異にする恐あるから 3 回の平均をとつた．

試驗結果は第 20 表の如く，砂は篩 No. 50 以下を通過するものは磁鐵鑛粉末の相當量を含有し，その比重も大であるから，從て見掛比重も大である．

第 20 表

見掛比重

篩目寸法 (mm)	砂				碎石屑			
	輕裝	中位裝	密裝	比重	輕裝	中位裝	密裝	比重
4.76 ～ 2.38	1.427	1.519	1.559	2.57	1.021	1.114	1.229	2.65
2.38 ～ 2.00	—	—	—	—	1.043	1.162	1.247	2.67
2.00 ～ 0.85	1.482	1.566	1.577	2.62	1.108	1.238	1.312	2.68
0.85 ～ 0.59	1.424	1.504	1.510	2.62	1.068	1.186	1.284	2.70
0.59 ～ 0.36	1.387	1.471	1.491	2.62	1.067	1.161	1.278	2.71
0.36 ～ 0.297	1.366	1.448	1.483	2.64	1.043	1.135	1.277	2.72
0.297 ～ 0.177	1.397	1.483	1.517	2.76	1.033	1.139	1.258	2.73
0.177 ～ 0.149	1.544	1.633	1.705	3.22	0.981	1.106	1.252	2.73

第 21 表

粗骨材の空隙率 (%)

	篩目寸法 (mm)	平均徑	輕裝	中位裝 フローテーブル落下回數 5	10	20	30	50	密裝
砂利	31.75～25.40	28.575	47.6	45.1	43.8	42.8	41.8	41.0	38.6
	25.40～19.05	22.245	46.7	45.1	43.8	42.1	41.1	40.6	38.5
	19.05～12.70	15.875	45.5	43.6	42.5	41.2	40.6	39.8	38.3
	12.70～ 6.35	9.525	43.3	41.3	40.0	39.0	38.4	37.7	37.5
	6.35～ 4.76	5.555	43.5	41.1	40.2	39.4	38.9	38.4	38.2
	平均		**45.32**						**38.22**
碎石	31.75～25.40	28.575	55.6	54.0	52.1	51.5	50.8	50.0	47.5
	25.40～19.05	22.245	55.4	53.0	51.8	50.9	50.2	49.5	46.4
	19.05～12.70	15.875	54.6	52.3	51.1	50.1	49.4	48.8	46.0
	12.70～ 6.35	9.525	53.9	51.6	50.3	49.0	48.5	47.8	46.0
	6.35～ 4.76	5.555	53.4	50.8	49.5	48.7	48.2	47.5	46.6
	平均		**54.58**						**46.5**

20. 骨材の空隙率に及ぼす裝入方法の影響

見掛比重と眞比重とから空隙率を求むれば粗骨材に對しては第 21 表，細骨材に對しては第 22 表の如し．

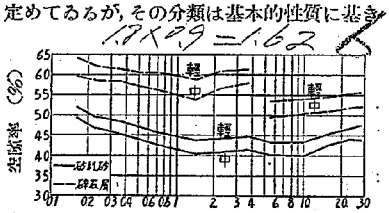
碎石の空隙率は砂利に比し極めて大にして，その比は輕裝に於て 1.21，密裝に於て 1.22 に及び，碎石屑も同樣で砂に比して輕裝に於て 1.30，密裝に於て 1.24 に及び粒子形狀の影響の著しきを示してゐる．

第　22　表

細骨材の空隙率（%）

粒度 (mm)	平均徑 (mm)	砂 輕裝	砂 中位裝	砂 密裝	碎石屑 輕裝	碎石屑 中位裝	碎石屑 密裝
4.76 ～2.38	3.57	44.8	41.4	39.8	61.5	58.0	53.6
2.38 ～2.00	2.19	—	—	—	60.9	56.5	53.3
2.00 ～0.85	1.425	43.4	40.2	39.8	58.7	53.8	51.0
0.85 ～0.59	0.72	45.6	42.6	42.4	60.5	56.1	52.4
0.59 ～0.36	0.475	47.1	43.8	43.1	60.6	57.1	52.8
0.36 ～0.297	0.3285	48.3	45.2	43.8	61.6	58.3	53.1
0.297～0.177	0.237	49.4	46.3	45.1	62.2	58.3	54.0
0.177～0.149	0.163	52.0	49.3	47.0	64.0	59.5	54.1
平均		47.23		43.00	61.25		53.40

粒子徑を篩目の平均徑にとりて粒度と空隙率との關係を求むれば第 28 圖の如し．測定法を異にするものあるから一概に考へ得ないが，一般に粗骨材は粒徑の小なるに從ひ空隙率も亦小となり，細骨材は之に反して粒徑大なるに從ひ空隙率小となる．從て一定粒徑のものに於て最小空隙率を有すべきであるが，之らは篩目の大さの範圍の大小によりて異るから明に定め得ざるものであり，砂利と砂，碎石と碎石屑は何れも單に粒子徑に應じて便宜的に定め主として採取法，碎石法の操作により定めてゐるが，その分類は基本的性質に基きて分類するよりもその工學的性質に及ぼす影響から考へて區分すべきものと考へらる．



第 28 圖

コンクリート骨材としては 2mm を限界とするもの白耳義，4.76mm とするもの英國，米國，5mm のもの和蘭，丁抹，ロシア，6.4mm のもの加奈太，7 mm のもの獨逸，瑞典，諾威，チエツコ，8mm のも

の端西ありて一定しない．瀝青混合物に對しては 2mm をとり，土性力學に於ては，リース氏が 1mm，獨逸 1mm，國際土質委員會で 2mm，本邦の A.S.K 式 2mm と定めてゐるが，之らはその工學的性質より限界を定むるにあらずして多くは産狀による分類限界である．

V 骨材の比粒數と粒子の大さ

21. 骨材の比粒數

骨材の單位重量に含まるゝ粒子數は空隙率の示す工學的性質の重要なる要素たる單位間隙の大さを支配する條件であるから，今重量 1kg に含まるゝ粒子數を比粒數として各粒度のものに就き測定し，之より粒子の體積を求め實測體積と比較し更に單位間隙の大さを算定した．

(1) 粗骨材の比粒數

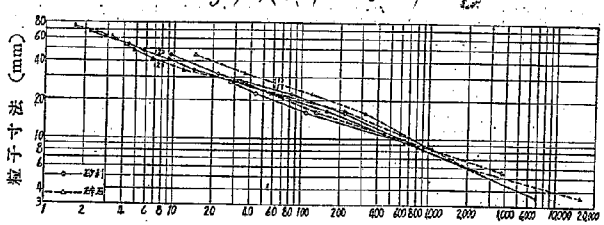
砂利と碎石とにつき比粒數を測定すれば第 23 表の如し．

第 23 表

單位重量に含まるゝ粒子數量

粒子寸法 (mm)	砂利			碎石		
	粒子數	重量 (kg)	單位粒數 (個/kg)	粒子數	重量 (kg)	單位粒數 (個/kg)
31.75～25.40	98	3.840	28.16	96	2.805	34.22
25.40～19.05	102	2.315	44.06	107	1.838	58.22
19.05～12.70	244	2.205	110.66	241	1.790	134.64
12.70～ 6.35	2,059	3.179	650.83	1,958	2.783	703.56
6.35～ 4.76	2,118	0.822	2,576.64	1,783	0.472	3,777.54

既往試驗の結果と比較すれば第 29 圖に示すが如く，篩目と粒子數を對數値に就て考ふれば直線をなして居る．



第 29 圖

本試驗の結果も著者が明治神宮外苑工事の際測定せる結果（第 29 圖中(1)）及東京市試驗所に於て行へる結果（第 29 圖中(2)）も同樣であつ

て一般に碎石の粒子數は砂利よりも多い.

（2） 細骨材の比粒數

細骨材は粒子小なる爲に取扱に際し粗細混合の割合が局部的に異り分離を生じ易い，從て試料は4分法によりて標準試料をとり，粒子數を測定し，4回の平均値を求むれば第24表の如し.

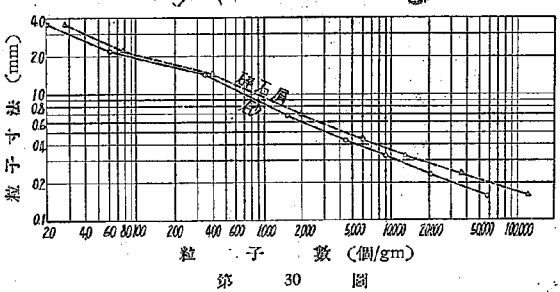
粒子數は粗骨材と同樣に人工破碎せる碎石屑多きは形狀不規則なるが爲で同一粒徑と考へる砂に比して粒子體積小なるを示し來る.

第　24　表.

粒子寸法 (mm)	砂			碎石屑		
	重量 (gm)	粒子數	粒子數/gm	重量 (gm)	粒子數	粒子數/gm
4.76 ～2.38	4.116	83	20.16	5.339	150	28.10
2.38 ～2.00	5.017	300	60.40	6.436	500	77.69
2.00 ～0.85	7.3468	2,546	346.55	7.408	2,963	399.97
0.85 ～0.59	1.1597	1,792	1,545.23	1.049	2,098	1,998.48
0.59 ～0.36	0.7153	3,211	4,489.03	0.350	2,126	6,074.29
0.36 ～0.297	0.6006	5,464	9,097.57	0.1923	2,568	13,354.13
0.297～0.177	0.4207	8,769	20,843.83	0.1428	5,230	36,624.65
0.177～0.149	0.2781	16,354	58,860.18	0.1014	12,250	120,808.68

（3） 粒子の大さと比粒數との關係

前記試驗結果より平均値を求むれば第30圖に示すが如く，粒子の大さを篩目の平均徑ととり，之と比粒數との關係を最小自乘法を用ひて次式に導く事が出來る.



第　30　圖

碎石，碎石屑　　$N=696,626d^{-3}$

砂利，川　砂　　$N=521,195d^{-3}$

N: 粒子數/kg,　d: 篩目の平均より求めたる粒子徑 mm.

同一粒徑では人工破碎せるものが33%多い.

22. 粒子の大さ

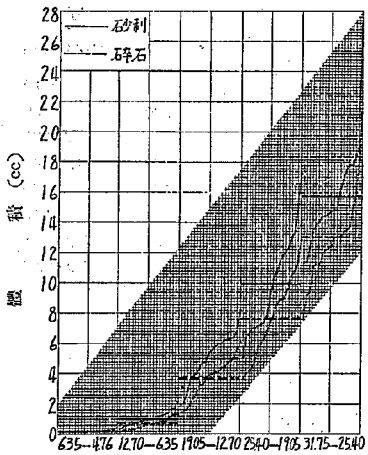
粒子の邊長を測定せる場合に之と同時にその粒子の體積を測定した，その結果は第31

圖の如し.

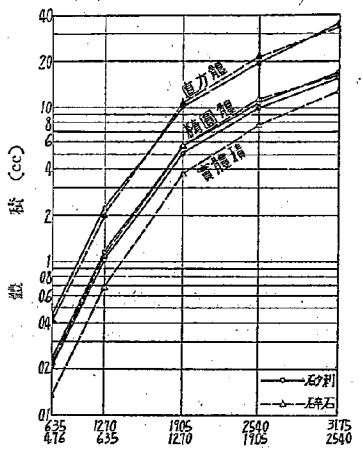
（1） 粗骨材粒子の大さ

前記試驗結果より粒子の平均體積及その極値を求むれば第 25 表の如く，同一粒度のものでは砂利は碎石に比して平均體積大であつて碎石はその稜角性が甚ばらしめ粒子體積は小なる事を示してゐる.

三軸方向の長を等しくする直方體と楕圓體と粒子の實體積とは第 32 圖の如く砂利と碎石とは直方體，楕圓體としての體積は差違少きも實測體積は著しく異りて砂利は碎石に比し何れの寸法のものも體積大である.



第 31 圖



第 32 圖

第 25 表

粒子の體積

種別及粒子寸法 (mm) / 區別	砂利 31.75～25.40	砂利 25.40～19.05	砂利 19.05～12.70	砂利 1270.～6.35	砂利 6.35～4.76	碎石 31.75～25.40	碎石 25.40～19.05	碎石 19.05～12.70	碎石 12.70～6.35	碎石 6.35～4.76
	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc
最大	26.66	17.20	8.19	2.05	0.405	21.32	12.84	6.09	1.32	0.340
最小	11.39	5.03	1.93	0.285	0.125	8.22	3.64	1.40	0.19	0.054
平均	15.68	9.90	5.02	1.02	0.206	12.95	7.64	3.66	0.68	0.133
(+)	10.98	7.30	3.17	1.03	0.199	8.37	5.20	2.43	0.64	0.207
(−)	4.29	4.87	3.09	0.735	0.081	4.73	4.00	2.26	0.49	0.079
砂利ミ碎石ミの平均値の比	1.14	1.29	1.37	1.50	1.55	—	—	—	—	—

(2) 比粒數より求めたる粒子の大さと實測値との比較

前記粗骨材に就き比粒數より粒子體積を求め，之と實測體積とを比較すれば第 26 表及第 27 表の如く，何れも砂利の體積大でその徑の比は 1.16 である．實測體積が比粒數より算定せる體積より稍大なるは，眞比重が個々の粒子につき幾分相違せる結果と考へらる．

第 26 表

砂利の粒子の體積

粒子徑 (mm)	粒子數 (個/kg)	粒子平均重量 (gm)	粒子平均體積 (cc)	球としての徑 (mm)	立方體として 邊長 (mm)	立方體として 徑 (mm)	實測體積 (cc)	實測邊長(mm) a	b	c
31.75~25.40	28.16	35.55	13.70	29.75	23.95	41.5	15.68	45.5	33.2	21.5
25.40~19.05	44.06	22.70	8.75	25.5	20.6	35.6	9.90	39.7	26.4	18.4
19.05~12.70	110.66	9.05	3.49	18.8	15.2	26.3	5.02	32.3	21.9	14.0
12.70~ 6.35	650.83	1.53	0.593	10.4	8.4	14.6	1.02	18.5	13.0	8.7
6.35~ 4.76	2,576.6	0.39	0.150	6.6	5.3	9.2	0.206	11.3	7.4	5.1

第 27 表

砕石の粒子の體積

粒子徑 (mm)	粒子數 (個/kg)	粒子平均重量 (gm)	粒子平均體積 (cc)	球としての徑 (mm)	立方體として 邊長 (mm)	立方體として 徑 (mm)	實測體積 (cc)	實測邊長(mm) a	b	c
31.75~25.40	34.22	29.20	11.30	27.8	22.4	39.0	12.95	46.2	32.6	21.5
25.40~19.05	58.22	17.15	4.46	20.4	16.4	28.4	7.64	42.5	28.3	17.5
19.05~12.70	134.64	7.44	2.87	17.6	14.2	20.6	3.66	36.1	22.5	12.8
12.70~ 6.35	703.56	1.42	0.55	10.3	8.2	14.2	0.68	20.2	12.5	7.5
6.35~ 4.76	3,777.54	0.265	0.102	5.8	4.7	8.2	0.133	12.6	7.5	4.3

第 28 表

砂の粒子の體積

粒子徑 (mm)	粒子數 (個/gm)	粒子平均重量 10^{-3}(gm)	粒子平均體積 10^{-3}(cc)	球としての徑 (mm)	立方體としての 邊長 (mm)	立方體としての 徑 (mm)
4.76 ~2.38	20.16	44.200	17.20	3.20	2.580	4.46
2.38 ~2.00	60.4	16.500	6.35	2.30	1.855	3.22
2.00 ~0.85	346.6	2.880	1.10	1.28	1.033	1.80
0.85 ~0.59	1,545.2	0.647	0.248	0.781	0.629	1.09
0.59 ~0.36	4,489.0	0.223	0.085	0.546	0.440	0.761
0.36 ~0.297	9,098.0	0.110	0.0418	0.430	0.347	0.600
0.297~0.177	20,814.0	0.048	0.0174	0.321	0.259	0.449
0.177~0.149	58,860.0	0.017	0.0053	0.216	0.174	0.302

(3) 細骨材の粒子の大さ

比粒數から單一粒子の體積を求め，之が球及立方體としての徑及邊長を算出すれば第28表及第29表の如し.

第 29 表

碎石屑の粒子の體積

粒子徑 (mm)	粒子數 (個/gm)	粒子平均重量 10^{-3}(gm)	粒子平均體積 10^{-3}(cc)	球としての徑 (mm)	立方體としての 邊長 (mm)	立方體としての 徑 (mm)	砂粒に對する徑の比
4.76 ～2.38	28.1	35.6	13.45	2.96	2.38	4.12	14.8
2.38 ～2.00	77.7	12.9	4.85	2.09	1.69	2.93	11.0
2.00 ～0.85	400	2.5	0.935	1.22	0.98	1.70	6.0
0.85 ～0.59	1,998	0.5010	0.185	0.706	0.57	0.986	3.6
0.59 ～0.36	6,074	0.1645	0.0608	0.488	0.394	0.682	2.5
0.36 ～0.297	13,354	0.0749	0.0276	0.374	0.302	0.522	2.0
0.297～0.177	36,625	0.0273	0.0100	0.266	0.215	0.372	1.5
0.177～0.149	120,809	0.0084	0.0031	0.180	0.145	0.251	1.0

徑小なる粒子は體積も亦小であつて填充材としての特質がある．徑等しき粒子の骨材間隙を填充する粒子徑は $(\sqrt{2}-1)d$ であるから，第28, 29表の徑の比から考ふれば篩No. 80～No. 100 の粒子は同 No. 30～No. 40 のもの〻填充材となり，之は又 No. 10～No. 20 のもの〻填充材となり，更に No. 4～No. 8 の填充材となる．

篩 No. 50～No. 100 の粒子は同 No. 20～No. 30 のもの〻填充材となり，之はまた No. 8～No. 10 の填充材となる．

最大密度の配合は之らの徑の比粒數の割合から相關的に定めなければならぬ．

VI 骨材の容積壓縮率，間隙の大さ等に及ぼす粒子形狀の影響

23. 骨材の容積壓縮率に及ぼす粒子形狀の影響

粒子の形狀を異にする骨材の性質を明かにする爲に，標準輕裝と同密裝との狀態に於ける骨材の見掛比重と空隙率とから次式を用ひて容積壓縮率を求めた．

$$C=\frac{V_l-V_p}{1-V_p}\times 100$$

C: 容積壓縮率 %，V_l: 輕裝の空隙率，V_p: 密裝の空隙率．

(1) 粗骨材の容積壓縮率

砂利と碎石との容積壓縮率は第 30 表及第 33 圖に示すが如し．

碎石の粒子は砂利に比して稜角に富み空隙率も大であるが粒子が轉動してその位置を變すればその變化も亦大である，從て容積壓縮率は砂利の 11.2% に比して著しく大で 15.2% に達しその比は 1.36 に達する．

壓縮されたる結果は稜角の爲に粒子の嚙合作用を助長し，マカダム鋪裝の理論も亦之に基くものである．

中位裝の壓縮率を求むれば第 33 圖の如くフローテーブル落下回數が砂利に於て 110，碎石に於て略 150 の場合に密裝に近似し，之により密裝の仕事量を推想する事が出來る．

第　30　表

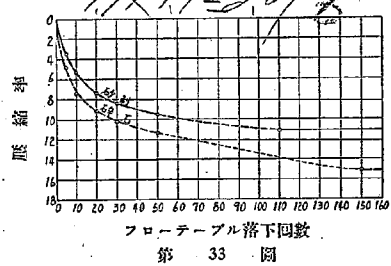
容積壓縮率（%）

種別及寸法 (mm)		中位裝 フローテーブル落下回數 5	10	20	30	50	密裝
砂利	31.75～25.40	2.9	5.2	6.8	8.4	9.7	13.2
	25.40～19.05	2.9	5.2	7.8	9.5	10.3	13.4
	19.05～12.70	3.4	5.2	7.3	8.3	9.5	11.7
	12.70～ 6.35	3.4	5.5	7.1	8.0	9.0	9.3
	6.35～ 4.76	4.1	5.6	6.8	7.6	8.3	8.6
	平均	**3.3**	**5.3**	**7.2**	**8.4**	**9.4**	**11.2**
碎石	31.75～25.40	3.5	7.3	8.5	9.7	11.2	15.5
	25.40～19.05	5.1	7.5	9.1	10.4	11.7	16.8
	19.05～12.70	4.8	7.2	9.0	10.3	11.3	16.0
	12.70～ 6.35	4.8	7.2	9.6	10.5	11.7	14.7
	6.35～ 4.76	5.3	7.7	9.2	10.1	11.2	12.8
	平均	**4.7**	**7.4**	**9.1**	**10.2**	**11.4**	**15.2**

（2）細骨材の容積壓縮率

砂と碎石屑との容積壓縮率は第 31 表に示すが如し．

壓縮率は砂 7.39%，碎石屑 17.35% にして後者が著しく大でその比は 2.35 に達する．



第　33　圖

一段破碎を受けたる碎石はその形狀極めて不規則にして複段破碎を受くるに從ひ砂利に近似し，從て砂と碎石屑との形狀は砂利と碎石との形狀比よりも比較的類似するものであるが，壓縮率の比の大なるは粒子の小なるが爲に氣流中に於て裝入する場合は重量小なる粒子が比較的輕裝となり，粒子大なる粗骨材は裝入速度大で衝擊も大であるから細骨材に比し裝入仕事量が大となる結果と考へらる．

第 31 表

容積壓縮率 (%)

粒度 (mm)	砂		碎石屑	
	中位裝	密裝	中位裝	密裝
4.76~2.38	5.4	8.3	8.3	17.0
2.38~2.00	—	—	10.1	16.3
2.00~0.85	5.3	6.0	6.6	15.8
0.85~0.59	5.3	5.5	10.0	17.0
0.59~0.36	4.9	7.0	8.2	16.5
0.36~0.297	5.7	7.7	7.9	18.1
0.297~0.177	5.8	7.8	9.3	17.8
0.177~0.149	5.3	9.4	11.1	20.3
平均	5.39	7.39	8.94	17.35

24. 骨材の粒子間隙の大さ

骨材の塡充材の量はその空隙率によりて定まるものであるが，その個々の間隙の大さは透水性を支配する主條件で，瀝靑混合物に對しては安定度を支配する主要性質であるから，空隙率を減ずると同時に個々の間隙の大さを小ならしむる事を要する．

(1) 粗骨材の粒子間隙の大さ

密裝狀態に於て砂利と碎石との粒子間隙の容積を求むれば第 32 表の如し．

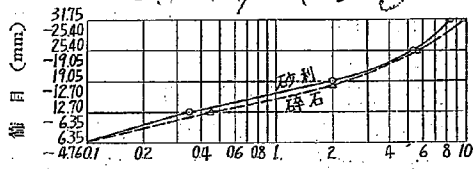
粒徑小なるに從ひ間隙の容積は著しく小となり，砂利は空隙率も小であるから間隙の大さも小い．

第 32 表

種別及寸法 (mm)		比粒度 (個/kg)	密裝見掛比重 (kg/lit)	密裝 (粒數/lit)	同空隙 (cc/lit)	間隙の大さ (cc)
砂利	31.75~25.40	28.16	1.622	45.7	386	8.5
	25.40~19.05	44.06	1.624	71.6	385	5.37
	19.05~12.70	110.66	1.648	182.5	383	2.00
	12.70~ 6.35	650.83	1.650	1,073.0	375	0.35
	6.35~ 4.76	2,576.64	1.638	4,225.0	382	0.0905
碎石	31.75~25.40	34.22	1.403	48.1	475	9.86
	25.40~19.05	58.22	1.432	83.5	464	5.56
	19.05~12.70	134.64	1.440	193.8	460	2.37
	12.70~ 6.35	703.56	1.440	1,028.0	460	0.452
	6.35~ 4.76	3,777.54	1.445	5,459.0	466	0.0853

（2） 細骨材の粒子間隙の大さ

同様に比粒數と密裝の見掛比重から空隙量を算定し，之より粒子間隙の大さを求むれば砂と碎石屑に對しては第 33 表及第 34 表の如し．



第 34 圖

粒徑小なるに從ひ間隙の大さは著しく小となる，玆に細骨材としてまた填充材の特質を表す．

第 33 表

砂の間隙の大さ

粒度 (mm)	粒子數 (個/gm)	密裝見掛比重 (gm/cc)	密裝粒子數 (個/cc)	密裝空隙容積 (cc)	粒子間隙の大さ (mm^3)
4.76 ～2.38	20.16	1.559	31.429	0.398	12.6634
2.38 ～2.00	60.4	—	—	—	—
2.00 ～0.85	346.5	1.577	546.431	0.398	0.7283
0.85 ～0.59	1,545.0	1.510	2,332.950	0.424	0.1817
0.59 ～0.36	4,489.0	1.491	6,693.099	0.431	0.0645
0.36 ～0.297	9,098.0	1.483	13,492.334	0.438	0.0324
0.297～0.177	20,844.0	1.517	31,620.348	0.451	0.0143
0.177～0.149	58,860.0	1.705	100,356.300	0.471	0.0047

第 34 表

碎石屑の間隙の大さ

粒度 (mm)	粒子數 (個/gm)	密裝見掛比重 (gm/cc)	密裝粒子數 (個/cc)	密裝空隙容積 (cc)	粒子間隙の大さ (mm^3)
4.76 ～2.38	28.1	1.229	34.535	0.536	15.5204
2.38 ～2.00	77.7	1.247	97.892	0.533	5.4448
2.00 ～0.85	400.0	1.312	524.800	0.510	0.9718
0.85 ～0.59	1,998.0	1.284	2,565.432	0.524	0.2048
0.59 ～0.36	6,074.0	1.278	7,762.572	0.528	0.0680
0.36 ～0.297	13,354.0	1.277	17,053.058	0.531	0.0311
0.297～0.177	36,625.0	1.258	46,074.250	0.540	0.0117
0.177～0.149	120,809.0	1.252	151,252.868	0.541	0.0036

25. 粒子の間隙填充材の大さ

骨材の間隙填充材の大さを求むる爲に，その空隙の大さと容積の等しき立方體を考へそ

の邊長を算出し，更に之を最大徑とする立方體に內接する球の徑を算出して填充材粒子の大さを求めた．

（1） 粗骨材の間隙填充材の大さ

砂利と碎石との填充材の大さは第 35 表の如し．

間隙の大さは粒子徑の 3 乘に比例して減少するが故に空隙率が等しきものも粒徑小なるに從ひ間隙の大さ小く，之によりて透水性及安定性に及ぼす影響著しく大である．

第 35 表

寸法 (mm)	砂利			碎石		
	粒子間隙の大さ (cc)	同立方體邊長(mm)	同邊を徑とする立方體內接球徑 (mm)	粒子間隙の大さ (cc)	同立方體邊長(mm)	同邊を徑とする立方體內接球徑 (mm)
31.75～25.40	8.5	20.4	11.8	9.86	21.45	12.4
25.40～19.05	5.37	15.7	9.06	5.56	17.7	10.2
19.05～12.70	2.00	12.6	7.30	2.37	13.35	7.7
12.70～ 6.35	0.35	7.05	4.08	0.452	7.68	4.45
6.35～ 4.76	0.0905	4.48	2.58	0.0853	4.41	2.55

徑を等しくする球の粒子の間隙を填充する副球の徑は一般に二種あつて主球の徑を d とすれば第一副球の徑は $(\sqrt{2}-1)d$，第二副球の徑は $1/\sqrt{2}\,(\sqrt{3}-\sqrt{2})$ であるから第 35 表の粒子間隙を填充する球の徑と之ら副球徑の計算値とを比較すれば第 36 表の如し．

粒子間隙を填充する粒子の徑と第一副球の徑とは略同一値を示し粒徑小なるもの程後者が幾分小く示されてゐる．

第 36 表

寸法 (mm)	粒子間隙填充球徑		第一副球徑 (mm)	第二副球徑 (mm)	簡日平均徑 (mm)
	砂利 (mm)	碎石 (mm)			
31.75～25.40	11.80	12.4	11.70	6.30	28.575
25.40～19.05	9.06	10.2	9.15	4.90	22.225
19.05～12.70	7.30	7.7	6.50	3.48	15.875
12.70～ 6.35	4.08	4.45	3.90	2.09	9.525
6.35～ 4.76	2.58	2.55	2.28	1.22	5.555

（2） 細骨材の間隙填充材の大さ

砂と碎石屑に對しては第 37 表の如し．

粗骨材と同樣に之らの填充材の徑と，間隙を填充する副球の數學的徑とを比較すれば第 38 表の如し．

間隙填充の球徑の測定値は副球に比して粗骨材の場合と同樣に粒徑小なるもの程大であつて，その比は最小徑のものに對しては碎石屑に於て 1.36，砂に於て 1.46 で何れも大である．

第 37 表

寸法 (mm)	砂			碎石屑		
	粒子間隙の大さ (mm^3)	同立方體邊 (mm)	同邊を徑とする立方體內接球徑 (mm)	粒子間隙の大さ (mm^3)	同立方體邊 (mm)	同邊を徑とする立方體內接球徑 (mm)
4.76 ～2.38	12.6634	2.330	1.350	15.5204	2.490	1.490
2.38 ～2.00	—	—	—	5.4448	1.760	1.020
2.00 ～0.85	0.7283	0.900	0.521	0.9718	0.991	0.575
0.85 ～0.59	0.1817	0.566	0.328	0.2048	0.589	0.342
0.59 ～0.36	0.0645	0.399	0.232	0.0680	0.408	0.237
0.36 ～0.297	0.0324	0.319	0.185	0.0311	0.314	0.182
0.297～0.177	0.0143	0.243	0.141	0.0117	0.227	0.132
0.177～0.149	0.0047	0.167	0.096	0.0036	0.153	0.089

第 38 表

寸法 (mm)	主球平均徑 (D) (mm)	第一副球 (0.41 D) (mm)	第二副球 (0.22 D) (mm)	實測填充徑 (mm)		填充球と副球との徑比	
				砂	碎石屑	砂	碎石屑
4.76 ～2.38	3.570	1.464	0.785	1.350	1.490	0.93	1.09
2.38 ～2.00	2.190	0.898	0.482	—	1.020	—	1.14
2.00 ～0.85	1.425	0.584	0.314	0.521	0.575	0.89	1.01
0.85 ～0.59	0.720	0.295	0.158	0.328	0.420	1.29	1.35
0.59 ～0.36	0.505	0.207	0.111	0.232	0.237	1.32	1.35
0.36 ～0.297	0.359	0.147	0.079	0.185	0.182	1.36	1.34
0.297～0.177	0.237	0.097	0.052	0.141	0.132	1.43	1.35
0.177～0.149	0.163	0.067	0.036	0.096	0.089	1.46	1.36

VII 骨材の工學的性質に及ぼす粒子形狀の影響

26. 概 說

骨材の工學的性質はその粒子形狀により著しく異り，從て之が混合物として用ひらるゝ場合の性質にも影響を及ぼすものであるから，粒子の形狀を異にする骨材の工學的性質の二三に就てその及ぼす影響を測定し，以て混合物としての工學的性質を研究する場合の基本を明にせんとす．

27. 息角に及ぼす粒子形狀の影響

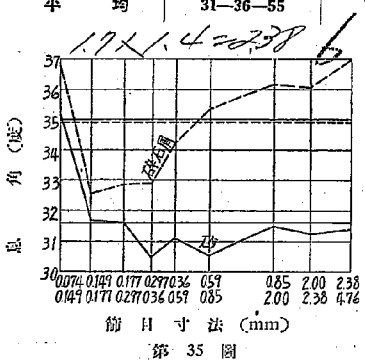
骨材の粒子がその表面で接觸し摩擦により安定を保つ性質はその粒子の形狀と表面の粗度とにより異るから，息角を測定して形狀と粗度との相關値を求めた．

息角の測定はガラス板上に内徑 42.5mm，高 105mm の無底圓筒（容量 150cc）を載せその内部に試料を輕く裝入した後，圓筒を徐に上方に抜き取りたる場合に試料の崩れ擴がりたる底邊及高さを測定して之を求めた．底邊の測定は互に直角をなす二方向をとりその平均値を求めた．

試驗は砂と碎石屑に就き各 5 回之を行ひその平均値を求むれば第 39 表第 35 圖の如し．

第 39 表

篩目寸法 (mm)	砂 息角	砂 摩擦係數	碎石屑 息角	碎石屑 摩擦係數
	° ′ ″		° ′ ″	
4.76 ～2.38	31—24—20	0.610	36—58—20	0.753
2.38 ～2.00	31—15— 0	0.607	36— 3—10	0.728
2.00 ～0.85	31—29— 0	0.612	36—11—10	0.731
0.85 ～0.59	30—33—40	0.591	35—19—40	0.709
0.59 ～0.36	31— 5—20	0.603	34—13—40	0.680
0.36 ～0.297	30—27—10	0.588	32—54—40	0.647
0.297～0.177	31—36—10	0.615	32—52— 0	0.646
0.177～0.149	31—40—10	0.617	32—31— 0	0.637
0.149～0.074	35— 2—20	0.701	36—44—30	0.747
平均	**31—36—55**	**0.616**	**34—52— 0**	**0.698**



第 35 圖

碎石屑は形狀不規則且表面粗度大であるから息角も大で平均 35°，摩擦係數 0.70 を示し，砂は之に比し著しく小で息角 31° 30′ 摩擦係數 0.61 で前者に對する比は 1.135 である．

28. 締合强さに及ぼす粒子形狀の影響

水締マカダムに用ふる石質の適否を定むる締合力試驗は石粉粒子が加水による化學的變化の及ぼす影響あるものあるも，粒子を加水固結せしむる場合は主としてその形狀と表面粗度とに支配さるもの多いから，砂と安山岩碎石屑とに就て締合力標準試驗に準じて締合强さを試驗し，粒子形狀及表面粗度との影響を求めた．

試驗は細骨材に重量 16.6% の水を加へてよく混捏し，之を以て徑 2.5cm 高さ 2.5cm の圓壔形供試體を壓力 132 kg/cm² を加へて成形せしめ，之を室溫で 20 時間放置して 80°C の空氣爐で 4 時間乾燥せしめ，更に乾燥器中に 20 時間放置して冷却せしめた後に

壓縮强さを試驗した.

試驗結果は第 40 表及第 36 圖の如く，比較的粗粒の砂は比粒數少く從て接觸面積小であるから强さも小で，供試體製作機で成形して取扱ふ際に既に破壞して試驗不能であつた.

試驗は各粒度のものをとり，砂と碎石屑とにつき各 5 個を 1 組とし 2 回試驗を行つた，その結果は何れも近似して居る.

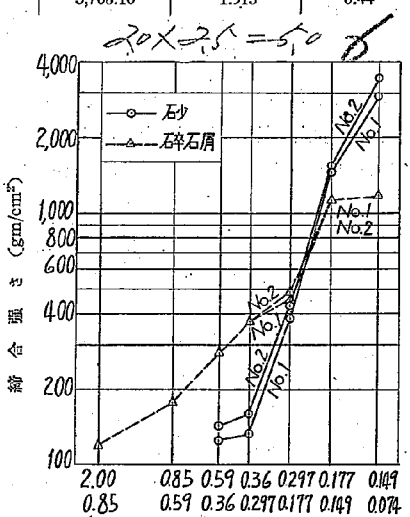
第 40 表

締合强さ (gm/cm²)

篩目寸法 (mm)	砂		碎石屑		締合强さ比
	締合强さ	比重	締合强さ	比重	
2.00 ～0.85	——	——	121.79	1.960	——
0.85 ～0.59	——	——	172.50	1.915	——
0.59 ～0.36	135.15	1.875	278.01	1.895	2.06
0.36 ～0.297	146.20	1.915	379.45	1.875	2.59
0.297～0.177	417.71	1.955	465.05	1.995	1.16
0.177～0.149	1,489.35	1.955	1,134.34	1.915	0.76
0.149～0.074	3,210.40	2.082	1,167.64	1.875	0.36
0.074 以　下	8,348.00	2.190	3,708.10	1.915	0.44

砂は碎石屑に比し粒子間の嚙合力弱く締合强さも小であるが，粒徑小なるに從ひ次第に碎石屑と近似するに至り，篩 No. 80 以下のものは碎石屑が却て砂より强さ小である．2 回の試驗 10 箇の供試體の强さが何れも同樣である．これ碎石屑は形狀に基き空隙率大で供試體比重も亦砂より小であり，從て形狀の稜角性が却て締合强さを小にする物と考へらる.

瀝靑混合物の配合に當り最も重要と考へらるゝ細砂は通常篩 No. 80～No. 200 のものであるが之らは締合强さが碎石屑より却つて大である.



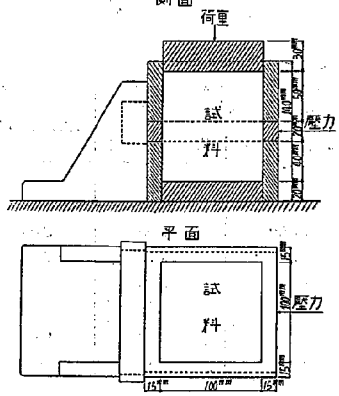
第 36 圖　砂及碎石屑の締合强さ

締合强さがその形狀及表面粗度のみを表すものとすれば篩 No. 80 以下は砂と碎石屑との締合强さの限界をなすものと考へらる．篩 No. 100～No. 200 のものに就て

考へれば，砂は砕石屑に比し締合強さ．2.56～2.92 倍で比重も 11% 大である．

29. 剪斷抵抗に及ぼす粒子形狀の影響

骨材の剪斷抵抗もその粒子の形狀及表面粗度により異るから，砂と砕石屑とに就て之を測定して之らの影響の程度を明かにした．



第　37　圖

試驗は第 37 圖に示すが如き裝置を用ひた．試料を容るゝ鐵製枠は邊長 10cm の正方形で深さ 14cm，その下端から 6cm より 8cm の部分を横方向に移動剪斷し得る様造られたものである．

枠の最下部に厚さ 2cm の鐵板を置きその上部に試料を裝入する，試料は匙を用ひ毎回 30cc 宛徐に隅及中央部分に裝入し靜に搔均しつゝ約 1,100cc 入れ，その上に厚さ 3cm の鐵板を以て覆ひ，更にその上に鐵錘をのせ全荷重を 15.4kg となし之を正しく水平の位置に保ち，移動し得る壁面に水平方向に壓力を加へて厚さ 2cm の部分を移動剪斷せしめその最大剪斷抵抗を測定した．

荷重と剪斷抵抗との關係を求むる爲に標準砂（0.85～0.543mm）を用ひ荷重 10.55kg 乃至 29.9kg に亙りて剪斷抵抗を測定すれば第 41 表及第 38 圖の如く，略比例するを知つた．

第　41　表

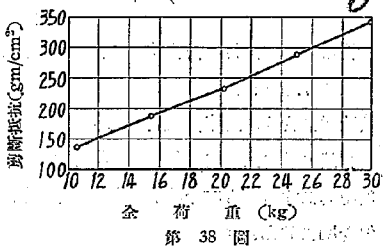
標　準　砂　（篩目 0.85～0.543mm）

荷　重 (kg)	剪　斷　抵　抗						荷重と剪斷抵抗との比
	A (kg)	B (kg)	C (kg)	D (kg)	E (kg)	平　均 (gm/cm²)	
10.55	13.375	14.125	13.125	14.125	13.250	136.0	1.29
15.40	19.125	18.000	18.625	19.000	18.750	187.0	1.21
20.25	23.125	23.625	23.500	23.250	23.000	233.0	1.15
25.10	29.250	28.500	28.250	29.000	28.750	287.5	1.15
29.90	34.750	34.000	34.500	33.750	34.000	342.0	1.14

砂と砕石屑に於て荷重 15.4kg の場合に剪斷抵抗を測定せる結果は第 42 表及第 39 圖の如く何れも剪斷抵抗は粒徑の大なるに從ひ著しく增大する．粒徑大なるものは砕石屑が抵抗大なるも粒徑小なるに從ひ砂と接近するに至り，篩 No. 50～No. 80 のものは殆ど等値

を示して限界をなし，篩 No. 80 以下のものは砂の抵抗が却つて大となる．

粒子形狀より云へば一段破碎を受けた碎石屑と自然に複段破碎を受け形狀が球狀に類似する川砂との間に人工的に複段破碎を受け又はボールミルにより粉碎された標準砂の如きものありて粒子形狀による剪斷抵抗は何れの場合も碎石屑と砂とは異り，標準砂はその中間の數値を示すものである．

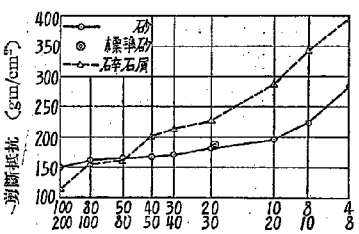


第 38 圖

第 42 表

剪　斷　抵　抗

粒度（篩番號）	砂 A (kg)	砂 B (kg)	砂 C (kg)	砂 D (kg)	砂 E (kg)	砂 平均 (gm/cm²)	碎石屑 A (kg)	碎石屑 B (kg)	碎石屑 C (kg)	碎石屑 D (kg)	碎石屑 E (kg)	碎石屑 平均 (gm/cm²)
No. 4～No. 8	28.25	28.50	29.25	28.25	27.00	282.5	39.00	40.25	38.75	39.50	40.50	396.0
No. 8～No. 10	21.75	22.25	22.00	23.00	22.75	223.5	34.25	35.75	33.25	34.25	33.25	341.5
No. 10～No. 20	19.50	19.25	19.75	20.00	19.75	196.5	28.25	28.50	29.25	28.00	29.50	287.0
No. 20～No. 30	17.88	18.25	17.75	18.50	18.13	181.0	22.50	23.75	23.00	22.25	22.00	227.0
No. 30～No. 40	17.00	17.13	17.13	17.00	17.25	171.0	21.50	21.00	21.38	21.50	21.38	213.5
No. 40～No. 50	16.75	16.75	16.88	16.88	17.00	168.5	20.13	20.25	20.00	20.13	20.25	201.5
No. 50～No. 80	16.50	16.38	16.50	16.38	16.25	164.0	16.25	16.38	16.13	16.25	16.13	162.3
No. 80～No.100	16.25	16.25	16.13	16.00	15.88	161.0	15.13	15.38	15.63	15.88	15.63	155.3
No.100～No.200	15.13	14.88	14.88	15.38	15.00	150.5	11.25	11.50	11.13	11.63	11.50	114.0



第 39 圖

VIII　骨材のバルキングに及ぼす粒子の大さの影響

30. 粒子表面を濕潤せしむるに要する水量

バルキングは骨材の基本的性質でなく二次的のものでその使用に當りて重要なる條件で

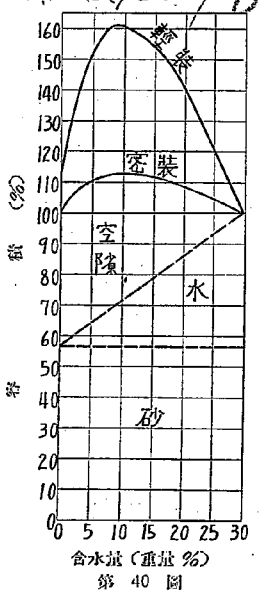
ある.

乾燥せる細骨材を密裝狀態に保ちその粒子表面を濕潤ならしむれば表面張力により粒子が互に分離され粒狀體としての容積は增大する. 更に水を加へて間隙の全部を充たせば密裝狀態に於ける間隙を空氣の代りに水で置換したと同樣で密裝の容積と等しくなる.

容積の增大は一定の含水量の場合に最大となり, 之らは粒子の大さにより著しくその程度を異にするから, 今粒子の表面を單に濕潤せしむるに要する水量を測定して含水量の性質を明にせんとす.

第　43　表

粒子寸法 (mm)	表面積 (cm^2/kg)	濕潤水量 (gm/kg)	水膜 (μ)	所要水量 (%)
31.75～25.40	714.88	4.92	0.687	0.49
25.40～19.05	1,090.80	6.12	0.562	0.61
19.05～ 9.50	1,400.00	11.25	0.804	1.12
9.50～ 4.76	2,900.00	32.60	1.120	3.26
平均			0.793	



第 40 圖

骨材粒子の表面積を算定し, 之を乾燥せしめたる狀態と濕潤せしめた狀態との重量を測定して, 濕潤に要したる水量を求め, 之より濕潤に要する水膜の厚さを算定すれば第43 表の如し.

表面積の算定がその實際値を精確に示さざるものあり, 濕潤狀態を同一基準に置く事の困難あるが故に水膜の厚さも正確に求むる事困難である, 然し本試驗の結果は約 0.8 μ の厚さを示してゐる.

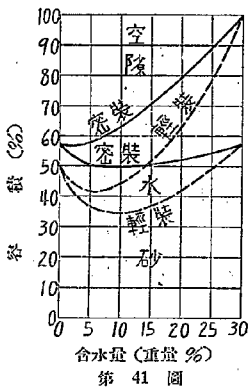
31. 骨材組成分に及ぼす含水量の影響

含水量のバルキングに及ぼす影響を試驗して骨材の組成分を定むれば篩 No. 50～No. 100 の砂に對するものは第40 圖の如し.

乾燥狀態の容積は輕裝と密裝とにより異り密裝の容積は含水するも一定なるべきであるが, 標準密裝は裝入に要する仕事量が不充分なるが爲に含水量の增加に伴ひ容積も幾分增大し, 一定限度に達して次第に減少し間隙の全部が水を充たさるれば標準密裝の容積

と等しくなる．輕裝の場合は含水量の增加に伴ひ容積增大率大であるが一定限度に達して次第に減じ遂に溢水狀態に達すれば密裝の容積と等しくなる．

骨材の組成分を考ふるれば第 41 圖の如し．

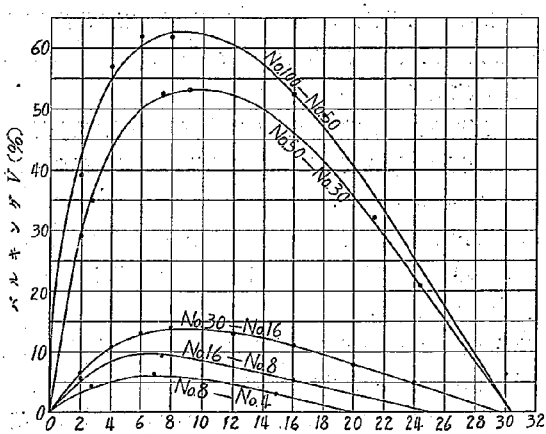


第 41 圖

32. バルキングに及ぼす粒子の大さの影響

粒子の大さのバルキングに及ぼす影響を測定する爲に篩 No. 4～No. 8, 同 No. 8～No. 16, 同 No. 16～No. 30 同 No. 30～No. 50, 同 No. 50～No. 100 の 5 種の砂をとり，粒子間隙を水で總て充たした溢水狀態 (immudation, flooding) に保ち，次第に含水量を減じて輕裝狀態で容積を測定し，乾燥せる狀態の密裝の容積と比較した．中位の濕潤狀態の輕裝容積は裝入方法により異り測定結果を一致せしむる事困難であるが各 5 回の試驗を行ひ平均値を求むるれば第 42 圖に示すが如し．

含水量等しき狀態では粒子徑小なるものがバルキング著しく大である．



第 42 圖

之らの線形から含水量とバルキングとの關係は次の實驗式に導き得る．

篩 No. 50～No. 100 のもの

$$V=7.10\left(-w-2.08+\sqrt{4.34+48.2w-0.48w^2}\right)$$

篩 No. 30～No. 50 のもの

$$V=35.39\left(-w+7.06+\sqrt{49.8+14.12w+0.74w^2}\right)$$

篩 No. 16～No. 30 のもの

$$V=59.00\left(4.32+w-\sqrt{18.7+2.22w+1.26w^2}\right)$$

V: バルキング %, w: 含水量 %

篩 No. 30～No. 50 のものと同 No. 16～No. 30 のものとの間に著しき相違あるは水の表面張力が 72 dyne/cm であつて間隙の大さと相關的關係を有する爲であつて，表面張力の異る他の液體では更に他の粒度のもの＞間に斯かる限界があるべく，之らは混合粒度のもの＞バルキングに關する研究と共に他日の研究に待つ考へである．

IX 試驗結果の約說

本編に於ては骨材を主とする道路用混合材の性質を研究する場合の基本を明にせんが爲に先づ骨材の工學的性質に及ぼす粒子の形狀及大さに關する試驗を行ひたるもので結果を約說すれば次の如し．

1. 粒度の測定

1. 粒度測定の方法として手篩法，フローテーブル法，振盪法を比較すれば何れも仕事量を異にするから結果は幾分異り，手篩法は通過量最も多く，その他は 2～7% 少く，砂利はその差小であるが碎石は相當に多い．

2. 大篩を通過し小篩に殘留する粒子を考ふればその最長邊又は最大斷面積の方向では大篩を通過し得ない，中邊は通過し得るものあるも小篩には止り，最小邊は何れも大篩を通過し小篩に殘留する事を示してゐる．

3. 篩を通過する粒子の邊長又は斷面積の方向は粒子の不安定なる位置にある．粒子を移動轉動せしめて，一時かゝる不安定位置に置くを要するから篩分には一定の仕事量を要し，之は粒子の形狀によりて異る．

4. 手篩法の仕事量をフローテーブル落下數と比較すれば，砂利に對しては約 30 回，砂は約 50 回に當り，碎石は之より遙に大である．

5. 角孔篩は圓孔篩に比し篩通過量多く，同一邊長のものに對し砂利の場合は 20% 碎石に對しては 25% 多い．

2. 粒子の大さ

1. 粒子の平均徑はその邊長を測定して之より定めた六種のものと，篩目の大さから求めた三種のものとを比較すれば，粒子の實測體積から之を球として求めた平均徑は篩目の算術平均値のものより少しく大であり，粒子の外接直方體の體積をその表面積で除したる

ものより少しく小であるが略之に類似してゐる.

2. 粒子形狀の不同率より考ふれば, 碎石は砂利より不同率大で, その比は約 1.20 である.

3. 粒子の形狀示數

1. 粒子の形狀を表す示數として (a)直方體と比較したる容積係數 (b)楕圓體と比較したる球形率 (c)粒子の細長率 (d) 扁平率 (e)方形率を定めた.

2. 容積係數及球形率は碎石は砂利より小でその比は 0.74 である.

3. 細長率, 扁平率は碎石が砂利より大でその比は 1.20～1.25 である.

4. 方形率はその相違小であつてその比は 1.07 である.

4. 骨材の性質

1. 空隙率は裝入方法により異るが故に標準輕裝, 中位裝, 標準密裝の狀態を規定して之を測定した.

2. 輕裝と密裝との空隙率の比は 0.85～0.90 である.

3. 碎石の空隙率は砂利より大でその比 1.22 で, 碎石屑の砂に對する比は 1.24～1.30 に達する.

4. 容積壓縮率を輕裝と密裝との比に就て求むれば, 碎石は 15.2%, 砂利は 11.2% で前者が大であり, その特質を表はし, 後者に對する比は 1.36 である.

5. 比粒數は碎石類が砂利類に比し大である.

6. 粒子徑の小なるに從ひ, その間隙の大さも著しく小となり, その填充材の徑の計算値と實驗値とは略一致する.

5. 骨材の工學的性質に及ぼす粒子の形狀及大さの影響

1. 息角は碎石屑が砂より大であつてその比は 1.135 である.

2. 締合强さは粒子の大さにより異り, 篩 No. 80 以上のものは碎石屑が大であるが之以下のものは砂が却て大である.

3. 剪斷抵抗は同樣に粒子の大さにより異り篩 No. 80 以上のものは碎石屑が大であるが之以下のものは砂が却て大である.

4. バルキングに及ぼす影響は粒子の大さにより著しく異り粒徑小なるもの程その影響大である.

津浪の災害輕減に關する模型試驗

內務技師　松　尾　春　雄

內　容　梗　概

津浪に關する模型試驗を，長約 11m 幅 1.2m 高 0.6m の水槽內に波長の大なる波を起して行つたものであつて，主として海岸に於ける波形の變化，並に防浪堤に關する試驗の結果を述べる．

目　次

I 概　要……(1)
1. 試驗裝置……(2)
2. 波　形……(3)
II 底勾配一樣なる水路內に於ける試驗……(5)
1. 緩勾配上の試驗……(5)
2. 急勾配上の試驗……(13)
3. 底面の影響試驗……(14)
4. 相 似 律……(14)
III 防浪堤に關する試驗……(17)
1. 鉛直阻壁に關する試驗……(17)
2. 開口を有する阻壁に關する試驗……(21)
3. 結果の綜合……(24)
IV 其の他の試驗……(26)
1. 灣の方向と浪源との關係試驗……(26)
2. 特殊なる防浪裝置に關する試驗……(27)
V 結　論……(28)

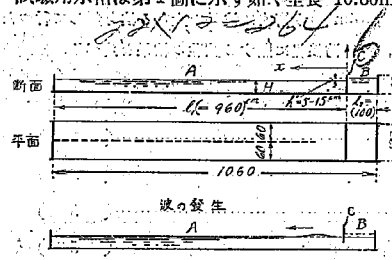
I 概　要

過般の三陸大津浪の被害が甚大であつた事に鑑み，將來の津浪の被害輕減の方策を樹つるの緊急なる事が認められ，內務省土木局に於ては各關係縣當局と協力して津浪對策調査を行ふ事となり，その一として模型試驗に依る被害輕減の方策研究が土木試驗所に於て行はれた．

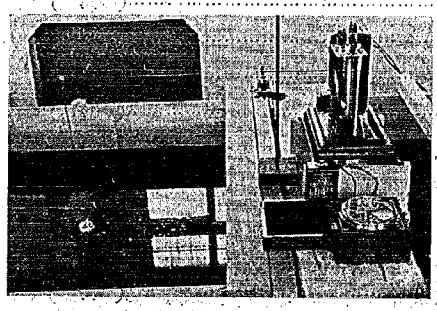
此の報告に取扱つてゐる範圍は一樣なる底勾配を有する水路内の波形の變化，殊に碎波を生ずる附近に於ける水分子の運動狀態，防浪堤等に依る波の勢力減殺の効果，波の傳播方向の轉換に依る波高の變化等の試驗結果であつて，海岸に於ける被害輕減の爲に防浪堤等を設ける場合に之を如何に配置すべきか等に就て推論したものである．

1. 試驗裝置

試驗用水槽は第1圖に示す如く全長 10.60m，幅 1.23m，高 0.60m の木製のものであつて，之を仕切板 C で A，B の二室とし，豫め B 室の水位を A 室よりも h'' だけ高くしておく，仕切板 C は一定の速さで鉛直に捲揚ける．最初の水位の差 h''，A 室の初めの水深 H，B 室の長 l_2 及 C の捲揚けの速さに相當した波が生じて A 室内を x の方向に傳はる．最初の一つの波の次に別の比較的低い波が二次的に發生して第一の波に續くのであるが，觀測は專ら第一の波に就て行ひ第二以下の波及反射波は取扱はない．



第 1 圖 試驗用水槽


第 2 圖 波形觀測の裝置（其一）

A 室の水深 H は 40, 30, 20, 10cm の各種．

B 室の長 l_2 は 200, 100, 80cm の各種であるが主として 100cm.

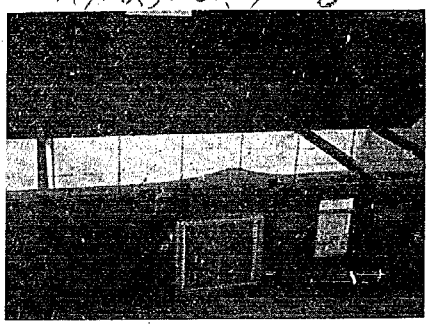
A, B 兩室の最初の水位差 h'' は 15cm～5cm であるが主として 10cm.

C の捲揚速度 v は實驗初期には人力に依つた爲不統一であつたが，後にはウインチを使用し $v=20$cm/sec であつた．

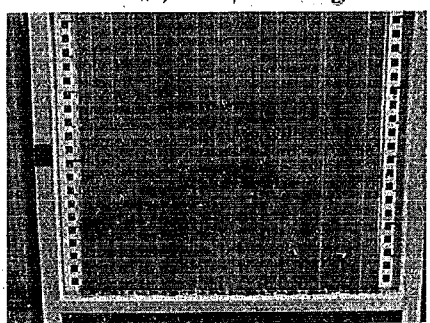
波形觀測は初めは第2圖の如く水の表面に浮子をおきその鉛直の動きを鉛直圓筒に記錄せしめる方法，次には第3及4圖の如く A 室内の底に長さの方向の一定間隔に設けた孔よりゴム管を以て水を導き水槽側面に集めて置いた鉛直ガラス管により主として瞬間寫眞に依り波形を觀測する方法を試みたが何れも不成功であつた．即ち前者は波長の大なる波は割合に正確に記錄するが，波長が小なる場合或は碎波を生ずる附近等に於ては不正確な記錄しか得られなかつた．又後者はゴム管内の摩擦抵抗を助くする爲に相當に大なる徑の

もの（内徑2cm）を使用したに拘らず，波の傳播速度が大なる爲觀測ガラス管に於ける波形は時間の「おくれ」があるのみならず，波の高さにも相違を生じ正確に觀測する事が出來なかつた．

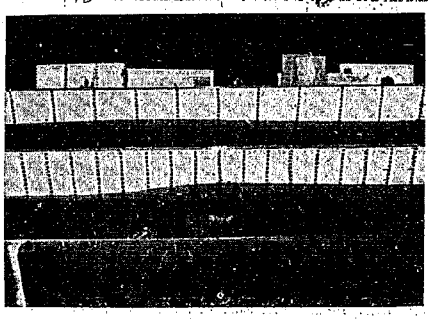
結局第5圖の如く波形を直接瞬間寫眞及活動寫眞に撮り，豫め水槽内に施した目盛に依り觀測する事とした．尙波の高さ等のみの場合には寫眞に依らず直接に觀測した場合も多い．寫眞は多く 1/100 秒の露出に依り撮影した．活動寫眞は 16mm のフイルムの最大毎秒 64 枚の露出をなし得るものを使用した．此の場合の露出時間は矢張約 1/100 秒である．



第 3 圖　波形觀測の裝置（其二）



第 4 圖　波形觀測の裝置（其三）



第 5 圖　波形を直接に撮影して觀測したもの（其三）

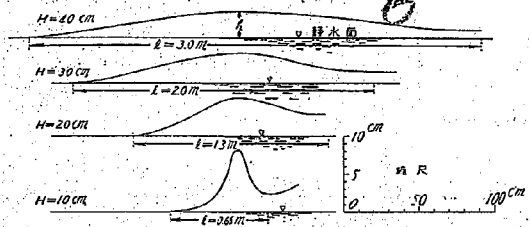
2. 波　形

水深が一樣なる場合の波形を

B 室の水深 H=40, 30, 20, 10cm,

A, B 兩室の最初の水位差 h''=10cm.

A 室の長さ l_2=100cm.（第1圖）に就て隔壁 C より 3.0m の距離に於て觀測の結果は第6圖に示す如くである．h'' を一定にした場合は水深 H の大なる程波長は大となり，且つ波の高さは之と反對に水深の小なるものが大である．波形が規則正しくない爲に波長及週期等を正確に測定する事は出來ないが，圖に l とした長さを波長とし h を波高とすれば，上の狀態に於ては第1表左 h''=10cm, l_2=100cm の欄に示す如き波形となり．A 室の水深が



第 6 圖 底面水平なる水路内に於ける波形（第 1 圖參照）
l_2=100cm, h'=10cm なる場合の水深. H=40, 30, 20, 10cm に於ける波

同樣で h'=15cm の場合は第 1 表右に示す値となる. 何れの場合も週期は 2 秒乃至 2.2 秒である.

第 1 表

	h'=10cm l_2=100cm				h'=15cm l_2=100cm			
水深 H (cm)	40	30	20	10	40	30	20	10
波高 h (cm)	3.4	4.0	5.0	8.2	3.9	5.0	7.1	7.1
波長 l (cm)	300	200	130	65	250	230	180	85
l/h	88.3	50	26	7.9	65.9	46.0	25.7	12.1
波頂の傳播速度 ω(cm/sec)	185[1]	160	141	125	168.5[1]	154.5	145.0	129.0

波の傳播速度を長い波の式 $\omega=\sqrt{gH}$ 及淺海波の S. Russel 氏の實驗式 $\omega=\sqrt{g\left(H+\frac{h}{2}\right)}$ に依つて計算した値と測定値との關係は次の第 2 表に示す如くである.

第 2 表

水深 H (cm)			40	30	20	10
計算値 (cm/sec)	$\sqrt{gH}$		198.0	171.5	140.5	99.0
	$\sqrt{g\left(H+\frac{h}{2}\right)}$	h'=10	202.2	177.0	148.3	117.3
		h'=15	203.0	178.0	152.5	115.5
測定値 (cm/sec)	h'=10(l_2=100)		185.0	160.0	141.0	125.0
	h'=15(l_2=80)		168.5	154.5	145.0	129.0

此の測定値は普通のストップ・ウオッチを使用して波が 6m の距離を傳はる時間を觀測

1) 兩觀測の値は尙近似的の値を得べき筈であるが, 水深が大なる場合は波形が極めて扁平であつて波頂を定めて觀測する事が困難な爲に相違を生じた.

した値から得たものであるが，波形が扁平なものは波頂が不明瞭な爲に十分正確を期し難い．一般に測定値は $\omega=\sqrt{gH}$ に依る計算値に近いが，特に著しい結果は水深 10cm の測定値が計算値よりも著しく大なる事である．これは水深の小なる場合には波が碎けて流れの狀態となる爲と考へる．

昭和8年3月3日の三陸津浪の高さは水深 60m 內外の灣口附近に於ては，$h=3.5$m 波長 17 km，週期 11.5 分內外と推定される極めて長い波であるが，岸に近づき水深が減少すると共に次第に波長が小となり遂には碎波を生じたものの如くである．次に述べる各種試験に於ては上記の如く l/h の種々の場合に就て行つたのであるが，之等模型試験の相似律に就ては以下の各試験の種類毎に考へる事とする．

II　底勾配一樣なる水路內に於ける波形の變化

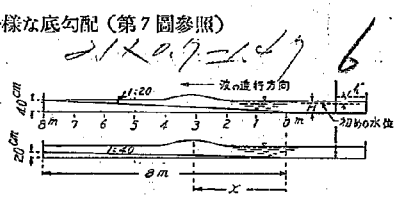
津浪が海岸に到達した場合，海岸の底勾配が波形に著しい影響を與へる事を認めたから[2]，試驗槽內に波の進行方向に平行な一樣な底勾配を作り，その上の波形の變化，水分子移動の狀況等を最初に觀測した．これは防浪堤の効果等の試驗の基礎事項となるから相當詳細に試驗した．

1.　緩勾配上の試驗

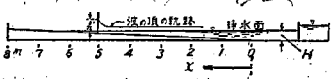
1.　長さ 8m　　幅 60cm の 1/40 の一樣な底勾配（第7圖參照）

2.　長さ 8m　　幅 60cm の 1/20 の一樣な底勾配（第7圖參照）

上に於ける波形の變化を波が進行中に一定間隔に於て撮影した寫眞に就て見るに（本編終の寫眞第1乃至4參照），勾配を上るに從つて次第に波長が小となり，水深が小なる場合には碎波となつて勾配上を流れの狀態となつて走り上る．第9圖は前記寫眞による値を綜合したものであるが，更に



第 7 圖　水路底面が緩勾配をなす場合の試驗



第 8 圖　水路を鉛直阻壁にて塞いだ場合の狀態

（1）　波の頂を波の進行方向に於て間隔 1m 毎に觀測した高さの軌跡，

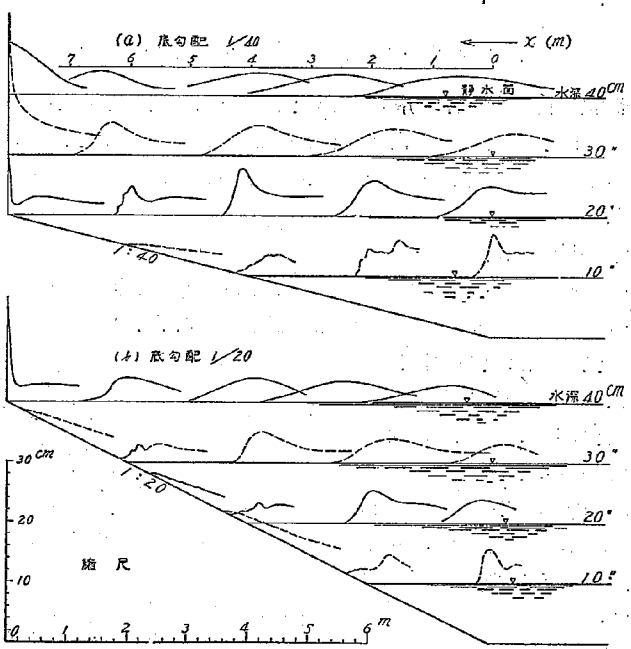
（2）　同じ位置に，波の進行方向に直角な鉛直壁を立てて水路を塞いだ場合波が達する壁に於ける高さ（第8圖參照），

2)「三陸津浪調査報告」土木試驗所報告第 24 號 97 頁

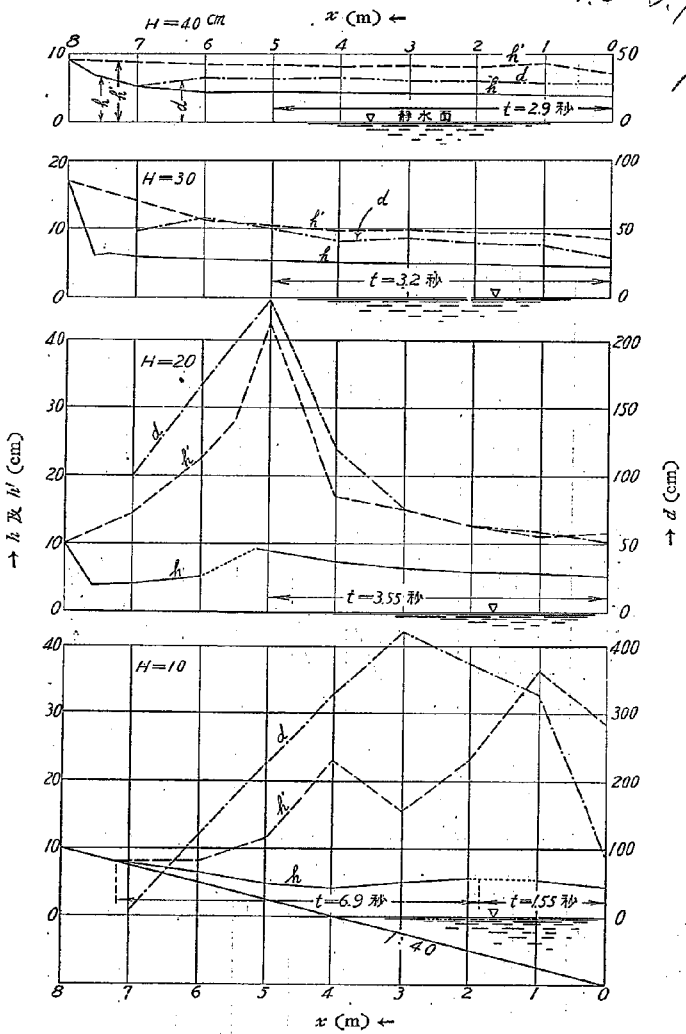
（3） 各 1m 毎の位置に初め浮かして置いた蠟が最初の一つの波が經過する間に移動する距離，

等に就て觀測した結果の中 $h''=10$cm, $l_2=100$cm のものを綜合して第 10 及 11 圖に示す．第 12 及 13 圖は $h''=15$, 10, 5cm の三種に就て觀測した波形の變化を比較したものである．

波形及波高の變化 第 8 乃至 13 圖に明らかなる如く，波形が保たれる間の波高の變化は割合に小である爲觀測が困難であるが略ゝ Green の法則に從ひ水深の 1/4 冪に逆比例*



第 9 圖 1/40 及 1/20 の底面勾配上を波が走る場合の波形の變化
（本編終の寫眞第 1 乃至第 4 參照）



第 10 圖　1/40 の底面勾配の水路上に於ける觀測の結果

上の圖表はx=0, 1, 2……m 等の 1m 毎の觀測の結果を直線で結んだもので, その中間は特別の變化がある場合にのみ觀測したものである.

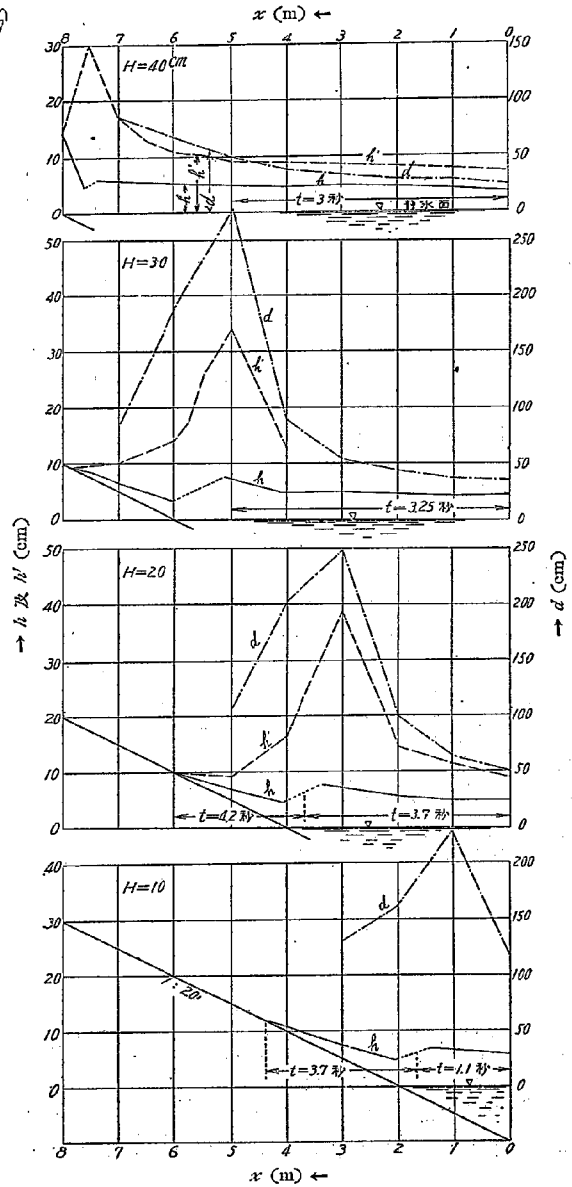
玆にh……波の頂の軌跡, この曲線中の點線の箇所では碎波を生じた事を示す.

h'……水路を各相當箇所の鉛直壁で塞いだ場合に水が跳ね上る高さ（第 7 圖參照）

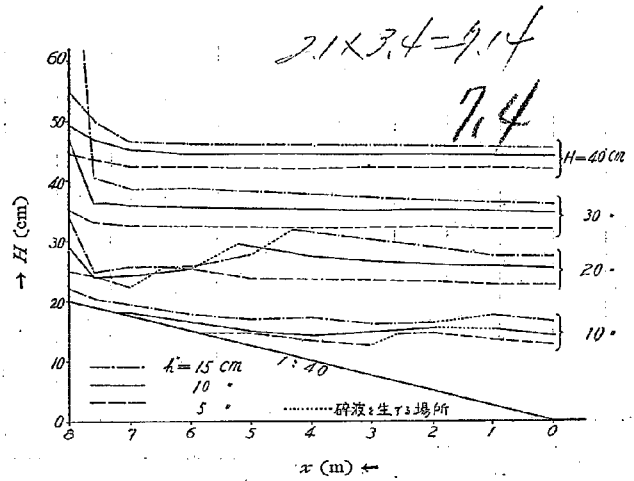
d……初め水面上の x の各相當箇所においた浮子が最初の一つの波が進行する間に進行した距離.

H……最初の水深.

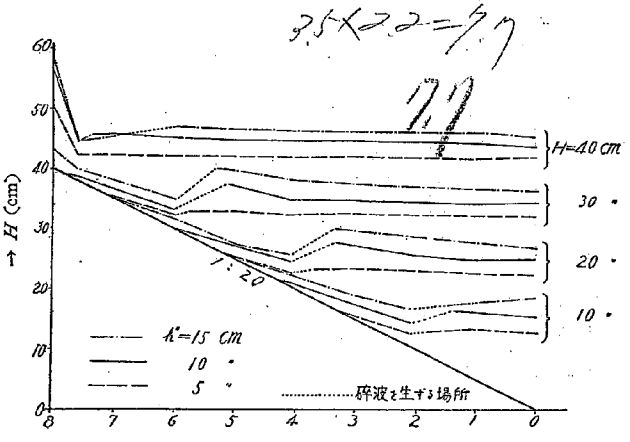
t……各矢印の區間を波の頂が通過した所要時間.



第 11 圖　1/20 の底面勾配の水路上に於ける觀測の結果，記號はすべて第 10 圖と同様



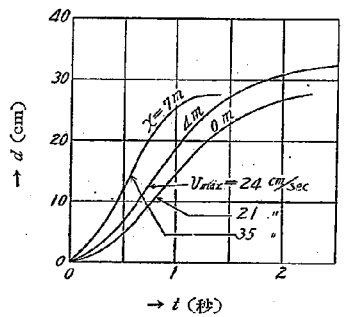
第 12 圖　l_2=100cm にて h'=15, 10, 5cm（第 1 圖參照）に相當する波の頂の軌跡　底面勾配1/40



第 13 圖　同上，底面勾配 1/20

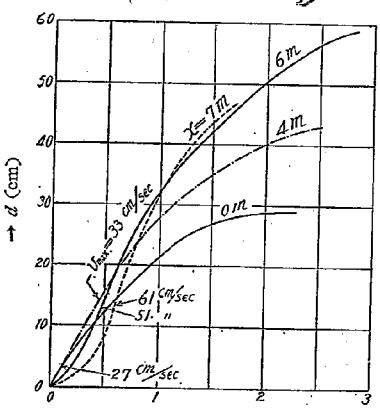
*して大となる．但し一定の水深以下で波が碎ける場合その前に波高が著しく大となる現象がある事は第 10～13 圖に依つて明である．此の附近の波高の變化は前記法則に從はないで之よりも大となる．

波が鉛直壁に衝突する場合には，普通は重複波となつて高さが 2 倍になるが（第 10 圖**

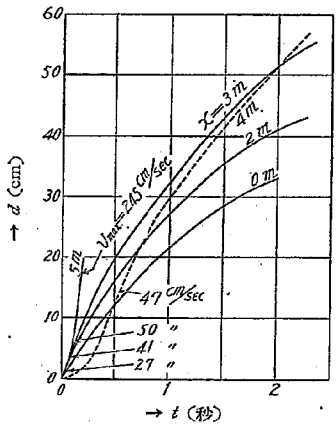


第14図　最初xの各相當箇所に水面上においた小浮子が波の進行と共に水平方向に變位する狀態を活動寫眞（毎秒 64 齣のもの）に依り撮影した結果より得た時間 t と水平方向の變位 s との關係曲線 $t=0$ は撮影開始の時間で小浮子が運動を始めた時間と略一致する．

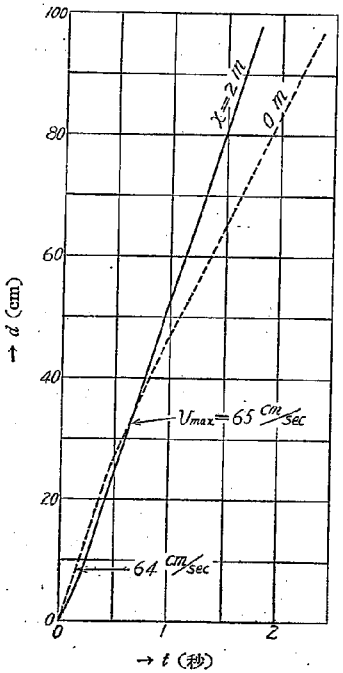
水深 40cm　底面勾配 1/40



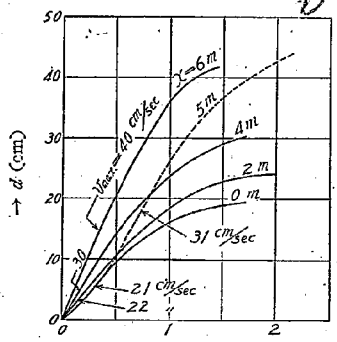
第 15 図
同上，水深 30cm，底面勾配 1/40



第16図　同上，水深 20cm 底面勾配 1/40

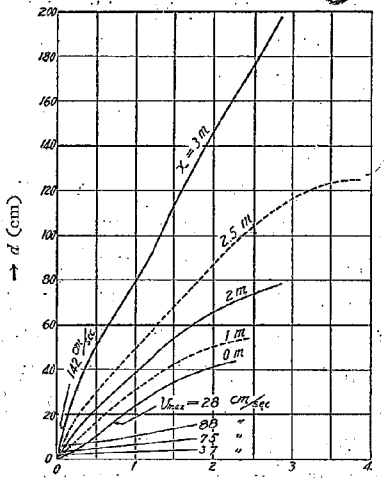


第17図　同上，水深 10cm，底面勾配 1/40



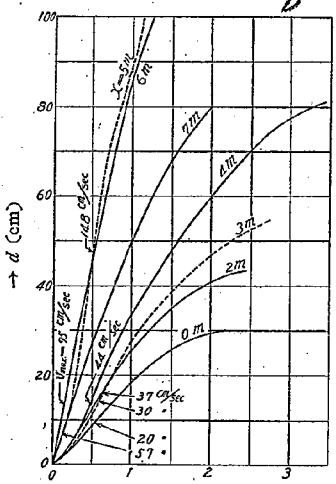
第 18 圖

同上，水深 40cm，底面勾配 1/20



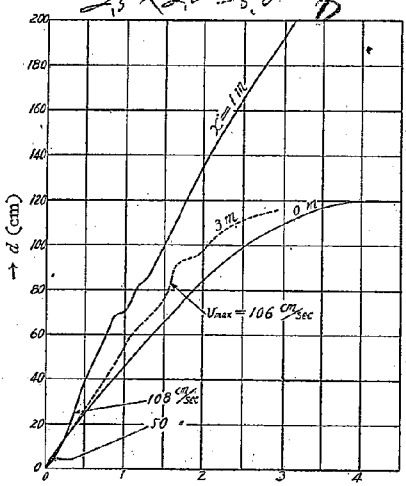
第 20 圖

同上，水深 20cm，底面勾配 1/20



第 19 圖

同上，水深 30cm，底面勾配 1/20



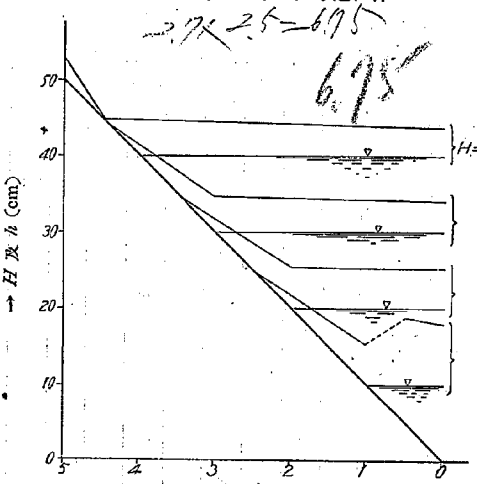
第 21 圖

同上，水深 10cm，底面勾配 1/20

**水深 40cm の場合參照）波が碎ける附近及其以後では波が跳ね上る爲に著しく大となる．（第 10 圖水深30cm $x=8$m の場合等）．

水分子の移動　水面上に直徑約 8mm の扁平な蠟を浮かし，波の進行に從つて之が移動する狀態を活動寫眞機により撮影した結果を整理し時間と最初の位置よりの水平變位との關係を第 14 乃至 21 圖に示す．寫眞の撮影開始の時間が水分子の移動開始よりも 1/8 秒位後れたものが多かつたが，圖に於ては寫眞に現はれた最初の位置を零として之からの變位を記した爲撮影開始時間の相違の爲の不規則な狀態がその儘現はれてゐる．圖の各曲線の傾は $\frac{ds}{dt}$ であつて各位置に於ける分子の速度を表はす．勾配が急なるものは速度は大であるが，二三を除き何れも $t=0$ 附近に於て速度が最大であつて，それ以後次第に小となる．波が碎けたものは速度が大なる狀態が長く續き，普通の波形を保つものとは著しく異る．

第14乃至21圖の流速の大なる箇所に於ては，水の有する運動勢力が大であつて波の破壞力も大である．第 10 及 11 圖の h' の大なる場所と分子移動速度の大なる場所との間に直接の關係がある事は勿論であつて圖に依つて之を明にする事が出來る。何れも碎波を生ずる附近に於て大であつて破壞力も之に伴ふ．



第 22 圖　底面勾配 1/10 の水路上を波が走る場合の波形の變化

第 22 圖は 1/10 の勾配に於ける波高の變化であるが，之に依れば水深 10cm の場合を除き波が碎ける現象は認められない．即ち 1/40 及 1/20 の勾配上に於ける試驗に比し波が水深の小なる場所に進むも碎けない．

實際の津浪では海底の縱斷勾配の相違に依つてその達する高さが異る事が明にされた[3]が，此の模型試驗に於て波が鉛直壁に衝突する場合は種々の影響が入る爲に之を除き，實際の海岸の狀態に類似の場合即ち波が勾配上を走り昇る場合に就て前記

3）三陸津浪調査報告　土木試驗所報告 24號 97～99 頁

の高さを比較するに，水深 10cm の場合に就ては

勾　　配	1/40	1/20	1/10
靜水面上の高さ h_0 (cm)	8.5	11.5	14.5

（第 23 圖參照）

第 23 圖
勾配上を波が走り上る高さ

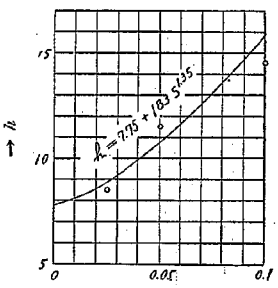
となる．今 $h=A+Bs^{1.35}$（土木試驗所報告 24 號 97 頁參照 但し前報告の H_0 は玆では h）．

玆に h は波先が達する最高點の靜水面上の高さ（cm）

A 及 B は津波の性質に依り異る係數

s は海岸の縱斷勾配

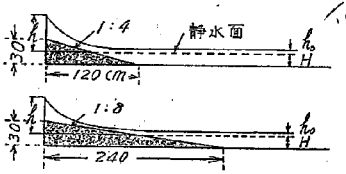
とし前記三點より A, B を決定すればその曲線 $h_0=7.75+183\ s^{1.35}$ は第 24 圖に示す如くなり前報告に記した式に $s^{1.35}$ なる項をとつた事が不適當でない事を眞書する．



第 24 圖　底面勾配と波が達する高さとの關係

2. 急勾配上の試驗

第 25 圖の如き 1/8 及 1/4 勾配上に波を送り觀測した結果は第 3 表に示す如くである．但しこの場合 $h''=15$cm, $l_2=80$cm（第 1 圖參照），h は第 25 圖に示す如く波が跳ね上る靜水面上の高さである．



第 25 圖，水路底面が急勾配をなす場合の試驗

表に於て水深 30cm の場合は 1/8 勾配上に於ける波形は 1/4 勾配上に於けるよりも著しく大である．1/40 及 1/20 勾配上に於ける試驗に明らかなる如く勾配は急なる程碎波と

第　3　表

水　　深　(cm)		30	20	10
$x=0$m に於ける波高 h_0(cm)[4]		7.8	10.8	6.9
h/h_0	1/8 勾配	4.62	3.20	3.28
	1/4 勾配	2.66	3.64	3.23

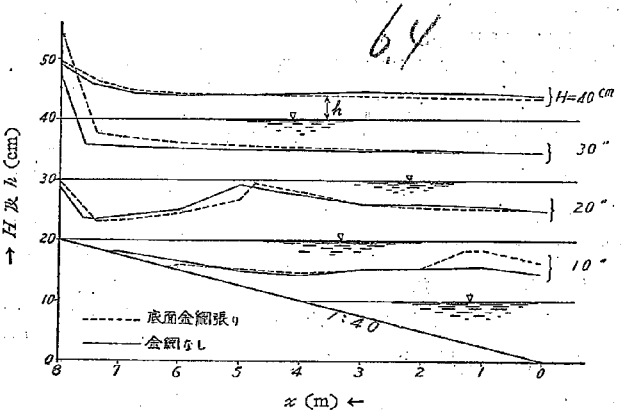
なり難く，此の場合に於ける實際の觀測に依るに水深 30cm のものは 1/4 勾配では勾配の終點の鉛直壁に於て碎波とならないものが 1/8 勾配では丁度此の點で碎波となり跳ね上る

4) この波高が 52 頁の $h=15$cm, $l_2=80$cm の波高と相違するのはこの試驗に於ては波を起すにウインチを使用せず人力に依つた爲仕切板を上げる速さが異つた事に因る．

高さが著しく大となる．水深 20cm 及 10cm では碎波は何れも勾配の途中に生じ 1/4 の方が水際線附近に碎波を生ずる爲水が達する高さが大となるのは當然の事である．

3. 底面の影響試驗

勾配上に徑約 1mm の鐵線にて，作つた網（網目寸法約 8mm）を一面に張つた狀態の下に波形の變化等を觀測した結果の中 1/40 勾配に於けるものは第 26 圖に示す通りでその影響は割合に小である．



第 26 圖　水路底面の影響を見る爲に底面に一樣に金網を張つた狀態で試驗し，張らない場合の波形との變化と比較する

1/8 及 1/4 勾配上に一面に前記の網を張り試驗した結果は次に示す如くであつて，網のない場合の結果に比し特別な相違は認められない．

水深 (cm)		30	20	10
h_0		7.6	10.1	5.6
h/h_0	1/8 勾配	5.53	2.84	2.47
	1/4 勾配	2.48	3.89	3.12

4. 相似律

一定勾配の底面を有し幅が一樣なる水路に於ける模型試驗の相似律が波形變化に對して成立するには本間工學士の津浪の理論的研究[5] により

5) 本號「津浪の變形の理論」參照．

模型試驗の波の週期を T_1 實際の津浪の週期を T_0 とし $\frac{T_1}{T_0}=m$

模型の鉛直方向の縮尺を實物の n_1 倍

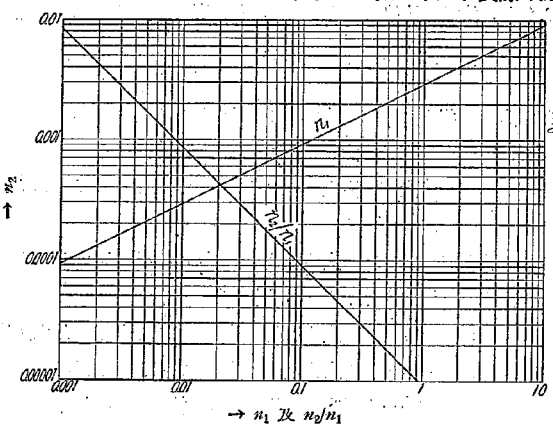
模型の水平方向の縮尺を實物の n_2 倍

とすれば $n_2/(m\sqrt{n_1})=1$ が成立しなければならぬ.

津浪の週期は自記驗潮儀の記錄により約 11.5 分卽 690 秒と推定される[6] が上記の模型試驗に於ては週期は約 2 秒であるから

$$m=\frac{T_1}{T_0}=\frac{2}{690}=\frac{1}{345},\ \text{從つて}\quad n_2/n_1=\left(\frac{1}{345}\right)^2\frac{1}{n_2}$$

n_2/n_1 と n_2 との關係は第 27 圖に示す通りであつてこの中 n_2/n_1 曲線は水平方向の縮尺が異なつた場合に海底勾配を實際の何倍にすべきかを示すものである. 例へば實際の海底の縦斷勾配が 1/100 なる場合[7] (三陸海岸の勾配は 1/200 乃至 1/50 の範圍にあるものが大部分である) に模型試驗の水平方向の縮尺が $n_2=0.0002$ とすれば, 上記の條件を滿足する勾配は第 27 圖に依り $\frac{n_2}{n_1}=0.042$ となり $1/(100\times0.042)=\frac{1}{4.2}$ となる. 水平方向の縮尺は實際の波長と模型試驗の波長との比より採れば, 水深 50m 附近に於ける波長が約 15km と推定されるから, 模型試驗の波長が 3m なる場合は $n_2=\frac{3}{15000}=0.0002$ となつて上記に相當する. この場合 $n_1=0.0048$ となり津浪の實際の高さが 3m なる時には, 模型試驗の浪高は $3\text{m}\times0.0048=1.44\text{cm}$ なる場合に相似律が成立する譯である. 實際問題として 1/4 程度の勾配上に於て高さ 1.4cm 程度の波の形の變化を精密に觀測する事は極めて困難である. 然るに津浪に依る被害は碎波を生ずる附近の波の勢力に大なる關係を有するからこの附近の



第 27 圖　波形の相似律が成立つ爲の n_1 と n_2 との關係. 玆に模型の鉛直方向の縮尺を實物の n_1 倍. 水平方向の縮尺を n_2 倍とする.

6) 三陸津浪調査報告 93~94 頁

7) 脚註 3) 參照

狀態を明にする必要がある．前記の急勾配に於ては此は殆ど不可能であるから，この觀測は之よりも緩な勾配上の試驗に依らなければならぬ．1/20 及 1/40 の勾配上の試驗を行つたのはその爲であつて，この試驗の波形變化に於ては直接上記の相似律は成立しないが，碎波となる前後に於ける水分子の運動狀態を明にする事が出來る．

碎波を生じて後流れの狀態となつて勾配上を走る場合は相似律が成立し，今

v_0……實際の流速，v_1……模型試驗の流速

とし，水の粘性を考へなければ，明らかに

$$\frac{v_1}{v_0}=\sqrt{n_1}$$

となり，實際の津浪の高さを 3m，模型試驗の浪高 3cm なる縮尺の場合には

$$\frac{v_1}{v_0}=\sqrt{0.01}=0.1,\qquad v_0=10v_1$$

即ち實際の場合には模型試驗の 10 倍の流速を有する事となる．又流れが構造物に及ぼす壓力に就ては

F_0……實際の構造物が受ける壓力，　F_1……模型の構造物が受ける壓力

とすれば　$F_1=n_1^3\,F_0$

となり上記の狀態では，實物は模型の $(100)^3$ 倍の壓力を受ける．

波形を保つ間の水分子の運動速度に就ては

v_0, v_1 ……夫々實物及模型試驗の水分子運動の最大速度

r_0, r_1 ……夫々實物及模型試驗の楕圓運動の長半徑

r_0', r_1'……夫々實物及模型試驗の楕圓運動の短半徑

T_0 T_1 ……夫々實物及模型試驗の波の週期

H_0 H_1……夫々の水深

L_0 L_1 ……夫々の波長

とすれば v_0 及 v_1 の相似律が成立する爲には

$$\frac{v_0}{v_1}=\frac{r_0}{r_1}\frac{T_1}{T_0}$$

然るに $$\frac{r_0}{r_1}=\frac{r_0'}{r_1'}\cdot\frac{\tanh\dfrac{2\pi H_1}{L_1}}{\tanh\dfrac{2\pi H_0}{L_0}}$$

即 $\dfrac{H_1}{L_1}=\dfrac{H_0}{L_0}$　でなければ相似律が成立しない．これは水平及鉛直兩方向の縮尺が同一でなければならない事を意味するが模型試驗をこれが成立つ樣に行ふ事は困難である．

第 14 乃至 21 圖の中碎波以前の水分子の最大水平速度の實物と模型との對等速度は上の相似律の條件が滿足される範圍に於ては $\frac{v_0}{v_1}=\frac{1}{n_1 m}$ となる.

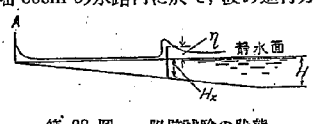
試驗結果の綜合　一樣なる勾配上に於ける波形觀測の結果著しい事は波がその常態の形を保つ間はその高さ及水分子の運動速度に著しい變化はないが, 一定の水深以下は波形を保つ事が出來なくなつて碎波を生ずるに至つて著しい變化が起る事である. 碎波を生ずる前には波高及水分子運動速度は著しく大となりその爲にこの附近の構造物には局部的に大なる壓力を及ぼし從つて破壞力は大となる. 碎波を生じて後の流れの狀態及之に對する模型試驗の相似律は旣に述べた通りである.

海岸に於ける緩斷底勾配が波の高さに及ぼす影響は波が碎けて勾配上を走り上る場合には勾配の急なものの方が, 水面上高く水が昇り, その高さと勾配との間には一定の關係が認められる[8].

III　防波堤に關する試驗

1.　鉛直阻壁に關する試驗

試驗の方法　長さ 8m の一定勾配 1/40 を有する, 幅 60cm の水路內に於て, 波の進行方向に直角に阻壁を設け (第 28 圖) A 點 ($x=8$m)に於て波が到達する高さ水路進行中の, 殊に阻壁附近の波の狀態等を觀測した. 阻壁は幅 60cm 厚さ 1cm の板であつてその高さは 2.5cm～25cm の間必要に應じて種々の寸法のものを使用し之を水路の底に鉛直に立てて試驗した. この試驗に於ては $h''=10$cm, $l_2=1.00$m (第 2 圖) とした.



第 28 圖　阻壁試驗の狀態

試驗の種類　1/40 の一定勾配上に於て

1)　水深 $H=20$cm (第 28 圖) 阻壁の水面上の高さ $\eta=0,\ 2.5,\ 5.0,\ 7.5,\ 10$cm

2)　水深 $H=10$cm　　$\eta=0,\ 2.5,\ 7.5$cm

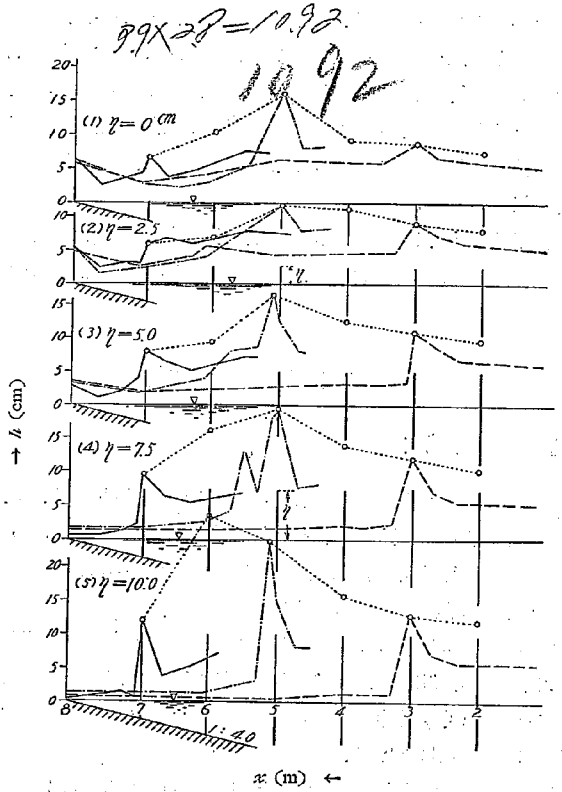
に於て阻壁の位置 $x=1$～7m の間, 間隔 1m 每に 阻壁を設置した.

試驗の結果　$H=20$cm に於て $x=2$～7m の間, 間隔 1m 每に $\eta=0$ の阻壁を設置した場合の波の高さの變化は第 29 圖 (1) に示す如くであつて, 以下 $\eta=2.5,\ 5.0,\ 7.5,\ 10$cm の場合の波の最高部の軌跡を (2), (3), (4) 及 (5) に順次示した. 圖に於て點線は阻壁の位置が種々の場合に於ける壁の位置の最高點をつないだもの, 各試驗の波の頂の軌跡は

8)　本章 1. 及三陸津浪調査報告 97 頁

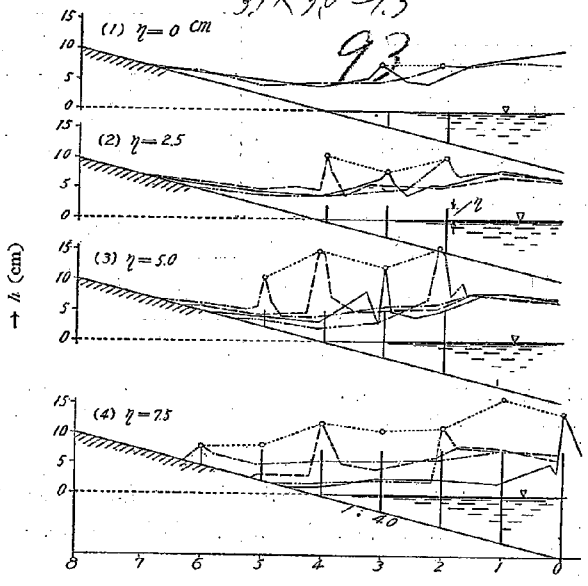
圖の混雜を防ぐ爲 2m おきのもののみを示した.

$H=10$cm のものに就て同樣の試驗の結果を第 30 圖に示す.

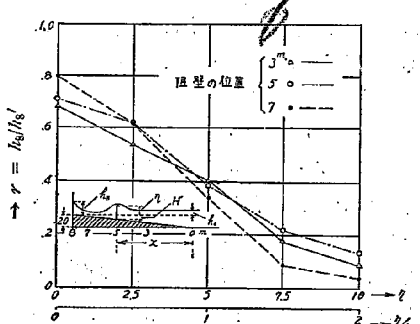


第 29 圖 阻壁試驗

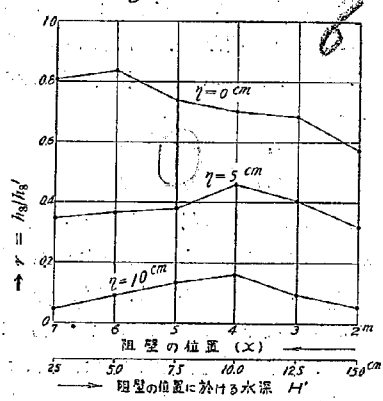
x の 1m の間隔に阻壁を鉛直に立てた場合の波の頂の軌跡を觀測し各觀測點間は直線でつないだもの. ○ は各阻壁位置に於ける最高點. 波の頂の軌跡は圖の混雜を避ける爲に, x の奇數に相當する阻壁のもののみを示す. 底面勾配 1/40, 水深 20cm の場合.



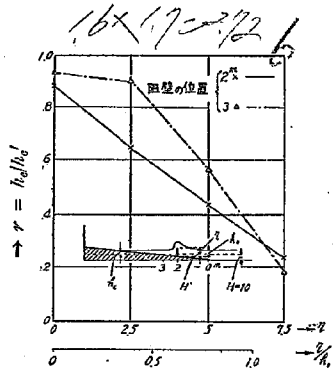
第 30 圖　同　上
底面勾配 1/40, 水深 20cm の場合



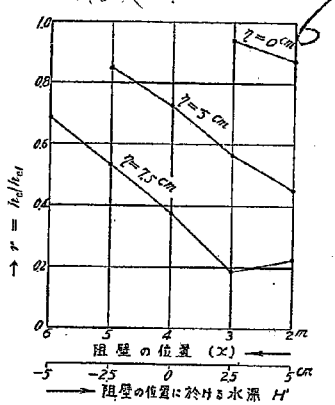
第 31 圖　阻壁の水面上の高さの影響
x=8m に於ける高さ h_8 と阻壁のない場合の高さ h'_8 との比 r をとり之と η との關係を示す.
底面勾配 1/40, 水深 20cm の場合



第 32 圖　阻壁の位置の影響
x を 1m 毎に變へた場合の r の變化.
底面勾配 1/40, 水深20cm の場合.



第 33 圖 阻壁の水面上の高さの影響.
底面勾配 1/40, 水深 10cm



第 34 圖 阻壁の位置の影響
底面勾配 1/40, 水深 10cm

阻壁の位置及その水面上の高さが $x=8$m に於ける水の高さに如何に影響するかを見る爲に各實驗に於ける高さ h_8 を途中に阻壁がない場合の同じ場所の高さ h_8' (第 31 圖參照) と比較する爲に

1) x を一定にして η が異る場合

2) η を一定にして x が異る場合

に於て h_8/h_8' が如何に影響を受けるかを第 31 乃至 34 圖に示した.

$H=20$cm の場合に於て見るに $r=h_8/h_8'$ は x の相違による差は割合に小である事は第 32 圖によれば明である. 阻壁の高さ H_x (第 28 圖) は x が異ると共に $\eta=0$ に對し夫々

$x=$	1	2	3	4	5	6	7m
$H_x=$	17.5	15.0	12.5	10.0	7.5	5	2.5cm

であつて H_x はその場所により著しく異るに拘らず r が之に殆ど無關係なる事は著しい結果である. これに反して η が大となれば r は著しく小となる事は第 31 圖により明らかである. 但し $x=0$m に於ける波高を h_0 とし $n=\eta/h_0$ とすれば $n=1$ なる場合に r は $n=0$ の場合の約 1/2, $n=2$ ならば約 1/7.5 となるのであつて阻壁の効果を發揮せしめるには n 即ち η を相當大にしなければならない.

$H=10$cm の試驗の結果は第 33 及 34 圖に示す通りであるが $H=20$cm とは稍〻趣を異にする. 即ち第 31 圖の η が大なると共に $r=h_8/h_8'$ が小となる關係は $H=20$cm の場合と同樣であるが, 第 34 圖の x による影響は $H=20$cm の場合とは相當に異るものが

ある．卽ち η を一定にして x を大にすれば r は著しく大となる．この場合は $x=4$ m 以上の阻壁の位置に於てはその底面の高さが靜水位以上の水際線上に相當する部分にあり，$x=4$m 以下の場合もこの水深では碎波を生じた以後の狀態に阻壁の位置がある事となるから，此の點で $H=20$cm の場合とは異る．この狀態では水面上の高さが同一の場合には阻壁が波の源から遠ざかると共に有効さが減少する．

2. 開口を有する阻壁に關する試驗

幅 60cm の水路內に波の進行方向に直角に第 34 圖の如き開口を有する鉛直壁を置き，波形の變化を觀測した．底勾配は 1/40 及 1/20 の一樣なるもの及底が水平のものとし（第 7 及 9 圖）$x=4$m に之を樹てた．開口は常に壁の中央に設け其の幅を b とし，水路の幅を B とした場合

$b=1.5,$　　3.0,　6.0, 12.0, 18.0, 24.0, 30.0, 45.0cm

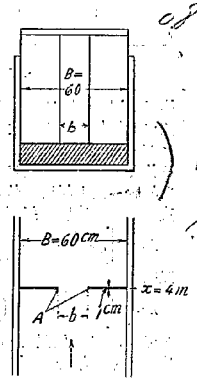
$\frac{b}{B}=0.025$ 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.75

に就て底勾配水平のもの　水深 $H=40$, 30, 20, 10cm

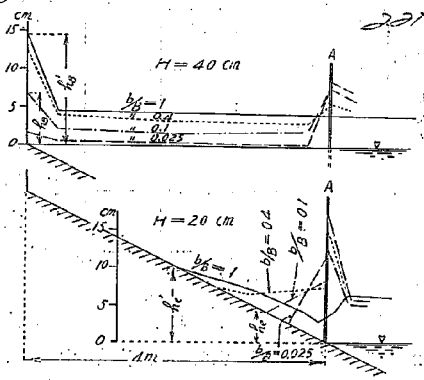
1/40 勾配　水深 $H=40$, 30, 20, 10cm

1/20 勾配　水深 $H=40$, 30, 20cm

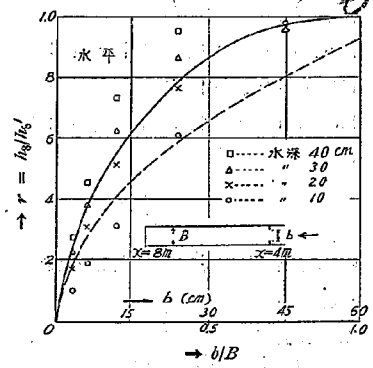
の場合に主として鉛直壁以後の波高を觀測し，鉛直壁がない場合と比較した．第 36 圖はその二三の例を示したものであつて 1/20 勾配上に於ける水深 40 及 20cm $\frac{b}{B}=0.4, 0.1, 0.025$ の時の波の最高部の軌跡を示したものである．何れも壁の位置に於ては著しく高くなり，$H=40$cm の場合には $x=8$m に於ける高さが，壁のない場合に比し小となる割合が，b と密接な關係のある事が認められる．$H=20$cm の時には波は $x=8$m までは達せず勾配の途中に止るから，その最後の高さを h_e とすれば，これも壁のない場合の高さ h_e' に比し小である．今 h_s/h_s' 或は h_e/h_e' と $\frac{b}{B}$ との關係を第 37 乃至 39 圖に示す．*



第 35 圖
開口を有する阻壁



第 36 圖　開口を有する阻壁を A なる位置に鉛直に立てた場合の波の頂の軌跡



第 37 圖　開口を有する阻壁試驗の結果. 開口の幅 b の內部の波の高さに及ぼす影響. r は全然壁のない場合の $x=8$m に於ける値と b なる幅の開口を有する壁を立てた場合の同じ場所の値との比

實線はこの實驗の近似式

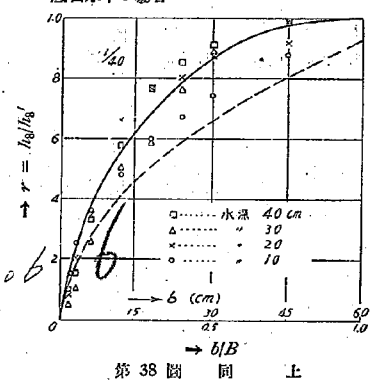
$$h=h'\left[\sqrt{\frac{b}{B}}+0.64\left\{\frac{b}{B}-\left(\frac{b}{B}\right)^2\right\}\right]$$

點線は Stevenson 氏式

$$h=h'\left[\sqrt{\frac{b}{B}}-0.027\left(1+\sqrt{\frac{b}{B}}\right)\sqrt[4]{l}\right]$$

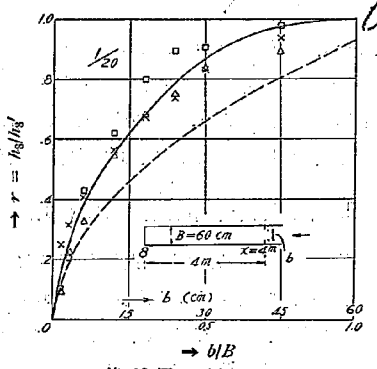
を示す. l は壁位置より觀測點までの距離

底面水平の場合



第 38 圖　同　上

底面勾配 1/40 の場合



第 39 圖　同　上

底面勾配 1/20 の場合

* h_s 或は h_e の測定箇所の鉛直壁からの距離の影響を見る爲に 1/40 勾配, 水深 40cm にて試驗し結果は

x	8	7	6	5m
h_x/h_x'	0.60	0.59	0.61	0.64

となり, 鉛直壁からの距離が 1m 以上は殆と影響なきことを示してゐる. 壁からの距離が殆と影響なしとして, 開口を存する阻壁をおいた場合の灣內の波高は第 37 乃至 39 圖の平均曲線より次の如く求められる.

$$h=h'\left(\sqrt{\frac{b}{B}}+0.64\left\{\frac{b}{B}-\left(\frac{b}{B}\right)^2\right\}\right) \quad \cdots\cdots(1)$$

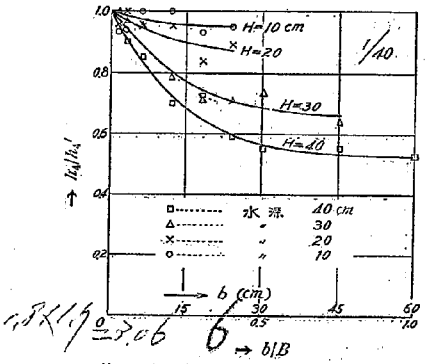
茲に h は灣內に於ける波高 h' は阻壁或は防波堤のない場合の灣內の波高である. 第 37～39 圖の實線は (1) 式の値であつて各測點は水深によつて區別してあるが, 一般に水深が大なるものは上記 (1) 式より求めた値よりも上にあり, 水深の小なるもの程下にある. 之は第 1 章 2 に述べた如く水深が大なる程, 波長が大になつてゐる事に原因し, 長い波程次第に阻壁の効果が少なくなる傾向があると考へるのが至當である. 普通の淺海波に於ける實驗式として港灣工事等の際に多く使用される Stevenson 氏の値は

$$h=h'\left\{\sqrt{\frac{b}{B}}-0.027\left(1+\sqrt{\frac{b}{B}}\right)\sqrt[4]{l}\right\}\cdots\cdots(2)$$

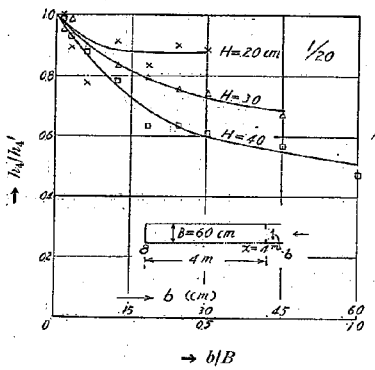
茲に l は開口阻壁より灣内の波高測定點までの距離 m であつて，之に依つた値を第 37 乃至 39 圖に破線を以て示した．この場合には h は堤内に於ける波高，h' は堤外に於ける波高を意味する．

(1) 式の h 及 h' は又堤内外に於ける波高に比例すると考へて差支ないから，之を以て直ちに長い波の防波堤内の波高と堤外の波高との關係式と見てよい．

開口を有する阻壁附近の波高は第 36 圖に示す如く著しく大であるが，之と開口を有し



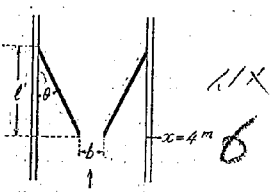
第 40 圖，開口を有する阻壁位置に於ける高さと同じ位置に開口を有しない阻壁をおいた場合の高さとの比 b/B との關係 底面勾配 1/40 の場合



第 41 圖　同上底面勾配 1/20 の場合

ない鉛直阻壁に於ける高さ(本章 2 參照)との比 h_4/h_4' を第40及 41 圖に示す．結果は可なり不統一であるが各水深別にその平均曲線を描けば，水深の大なる程開口の影響が大であることが明となつた．水深の小なるものは波形が碎けた後の場合が多く，この狀態では開口の影響が小なるは當然の事である．

第 42 圖の如き形の阻壁を設けた時は，前述の場合よりも堤内の波の高さが多少小になると考へられるが，試驗の結果は次に示す如くその影響は殆ど認められない．

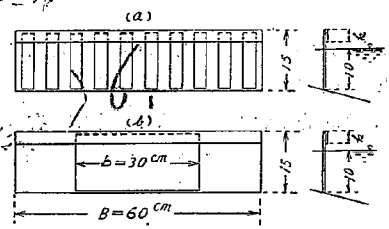


第 42 圖　開口を有する八字形鉛直阻壁

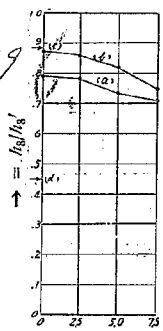
		$l'=0$	25cm	50cm	100cm
		($\theta=90°$)	(43°50′)	(25°40′)	(13°30′)
h/h'	$H=40$cm	0.58	0.30	0.33	0.31
	$H=10$cm	0.63	0.57	0.62	0.67

上記の試驗は $b=12$cm のものとし上の表に於て $l'=0$ としたものは第 35 圖に示す場合である.

特殊の阻壁 前節に述べた中央に一個の開口を有する阻壁の代りに第 43 圖 (*a*) の如く多數の小間隙を有する阻壁を設け, しかも波がこの上を溢流する樣な高さにすれば, 溢流したものと間隙部を流れ出たものとは阻壁の下流に於て互に勢力を相殺し, 堤内の被害輕減に効があると考へられる. 依つて之に關する試驗として第 43 圖 (*a*) の如き幅 3cm の間隙 10 個が 60cm の幅の水路内に等間隔に配置され, その上部は高さ k なる一樣なる板にて蔽はれたものを使用し, 之と第 43 圖 (*b*) の如く中央に幅 30cm の一個の開口を有し, 間隙上部は高さ k なる一樣なる板にて蔽はれた場合とを比較試驗した. $k=0$, 2.5, 5, 7.5cm の 4 種とし底勾配 1/40 の水路内に $x=4$m (第 7 圖) の點に (*a*) 或は (*b*) を鉛直に立て, $x=0$m に於ける水深 $H=20$cm (第 7 圖) なる場合に就て試驗した. この場合阻壁の位置に於ける水位はその底部より 10cm の高さにある. 波は $L=100$cm, $h''=10$cm (第 1 圖參照) なる狀態にて發生せしめ, $x=8$m (第 1 圖) なる點に於ける水の初めの靜水面上の高さ h_s を觀測し, 阻壁が全然ない場合の高さ h_s' との比をとり, その結果を第 44 圖に示す. 尙第 35 圖に示した狀態で試驗した場合は波は間隙部を通るのみで兩側の壁の部は溢流しないのであるが, これは圖の (*c*) で示した値であつて $k=0$ の (*b*) 及 (*c*) は殆ど差がない, (*a*) はこの兩者に比して有効であつて k の何れの値に對しても (*b*) よりは小である. 開口のない阻壁 (第 31 圖參照) の場合は此等に比し遙に有効である事は勿論であるが, 上記の實驗に相當する $\eta=5$ cm の場合では圖の (*d*) の値を示す.



第 43 圖 特殊阻壁(*a*)と普通の開口を有する阻壁(*b*)



第 44 圖 特殊阻壁試驗の結果

3. 結果の綜合

相似律 開口を有しない鉛直阻壁試驗に於ては碎波による影響を明にする事を目的とした爲に, 觀測の便宜上試驗水路の勾配は波形變化の相似律が成立つに要する勾配よりも緩である (第 II 章 4 參照). しかし試驗結果を整理するにあたり阻壁を設けた場合の波の高さと, 設けない場合の高さとを比較したのであつて, 阻壁の位置が碎波を生ずる場所の前後

何れにあるかに依つて防浪の効果に如何に影響するかは上記試驗の結果より實際を判斷して差支ないと思ふ. 尙上記試驗に於て阻壁の水面上の高さ η は初めの浪高 h_0 の縮尺にて測定すべきである.

開口を有する阻壁試驗に於ては阻壁內に於ける波の高さは開口より內に入る波の勢力と內側の面積とに關係を有するのである. 然るに模型試驗に於ては波の進行距離による勢力の損失は殆ど認められなかつたから之を無視すれば, 結局內側水路の幅と開口の幅との比によつて內側の波高が支配される事となり水路の底勾配の影響は小となる. 依つて上記試驗の結果を直ちに實際に適用して差支ない.

結果の綜合 開口を有しない鉛直阻壁試驗に於ては阻壁の水面上の高さが一定ならば, 碎波を生ずる以前の波に對しては阻壁の位置の影響は割合に小であるから, 成可く淺い位置に阻壁をおくのが最も有効であり, 碎波を生じた後の狀態に對しては堤頂の水面上の高さが一定ならば成可く浪の源に近い場所におくのが有効であると言ふ事が出來る.

何れの場合に對しても堤頂の水面上の高さが一定なる限り, 阻壁を碎波を生ずる附近におけば波の岸における高さを小にするのに最も有効であるとの結論が得られる. 但しこの場所では波の破壞作用が最も大であるから構造物は之に耐え得る樣十分堅固にしなければならぬ. 阻壁を陸上に設くれば阻壁底部が既に水面上にある爲壁の高さは小なる場合も壁頂部は水面上相當の高さを有する事となり最も經濟的に浪を防ぐ事が出來る. たゞ地形其の他の關係上斯の如き施設を許さない場合には他の方法に依らなければならぬ. この場合水中に設けた防浪堤の効果は割合に小であつて, 普通の表面の波に對する港灣工事の防波堤はその頂が水面まであれば相當に効果があるが, この場合にはこの高さでは効果は尠ない. 開口を有しない阻壁を設けて岸に於て波が到達する水面上の高さを 1/2 にせんとすれば, 壁の水面上の高さを浪の高さの 0.6～0.8 倍にしなければならぬ. しかしこれは實際上の問題として實現困難な事が多い.

開口を有する防波堤內に於ける波高と開口幅との關係は, 津浪の如き長い波では普通の表面の波に比し內側に入る波の高さが大となる. 長い波の場合には堤內の波高 h は, 堤外の波高を h', 開口の幅を b, 堤內の水面の幅を B とすれば

$$h=h'\left(\sqrt{\frac{b}{B}}+0.64\left\{\frac{b}{B}-\left(\frac{b}{B}\right)^2\right\}\right)$$

にて表はされ h/h' は同一の b/B に對し表面の波に對し使用される Stevenson 氏の値よりも一般に大となる.

第 43 圖の如き作用を有する特殊防波堤の効果は一個の開口を有するものに比し大であるが實際の施工上には種々の困難を伴ふ.

IV　其の他の試驗

1.　灣の方向と浪源との關係の試驗

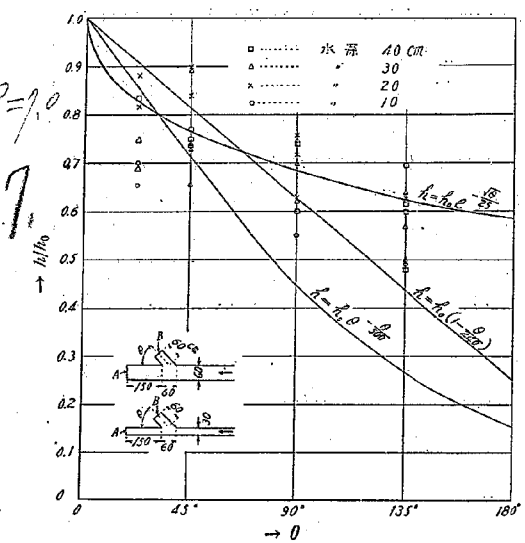
浪源に對する灣口の方向が灣内の津浪の高さに著しい影響を與へる事は先般の三陸大津浪調査の結果明らかであるが[8]，之に對する試驗として主水路と θ なる角をなす分水路を作り，(第 45 圖左下の圖參照) その分水路内に於ける波高と主水路内に於ける浪高とを比較した．水平の底を有する水路内に於て $h_0=80$cm, $h'=15$cm (第 1 圖) の狀態にて發生した波に就て

$\theta=22.5°$,　45°,　90°,　135°

主水路の幅　$B=60$cm 及 30cm の二種類

分水路の口の幅は常に 60cm

として原水路の終點 A (第 45 圖左下の圖參照) の鉛直壁に於て觀測した高さ h_0 と分水路の終點 B の鉛直壁に於て觀測した高さ h との比 h/h_0 と θ との關係を第 45 圖に示す．水路幅 B の影響が相當にあると考へたから $B=60$cm 及 30cm の二種類に就て試驗を行つたが，その結果はこの兩者の間に區別を認め難かつたから圖に於ては水深の區別をしたのみである．



第 45 圖　波の進む方向と θ なる角をなす灣内に於ける波高と θ との關係．太い實線は玆に得た實驗式細い實線は廣井博士の式

試驗では鉛直壁の場所に於ける波の高さを觀測したのであつて，波の高さを直接に測定したのではないが，鉛直壁に於ける高さは波の高さに比例すると考へられるから，A 及 B の何れもこの値をとればその比は又波の高さの比と考へる事が出來る．

8)「三陸津浪調査報告」土木試驗所報告 24 號 96 頁

A 及 B に於ける波の狀態は本編終の寫眞第 14 に示す.

試驗の結果は

$$h=h_0 e^{-\frac{\sqrt{\theta}}{25}} \quad \cdots\cdots(3)$$

にて表はされる. これに對し普通の表面波に就て廣井博士[9] は小樽港に於ける觀測の結果として初めに[10]

$$h=h_0\left(1-\frac{\theta}{240}\right)$$

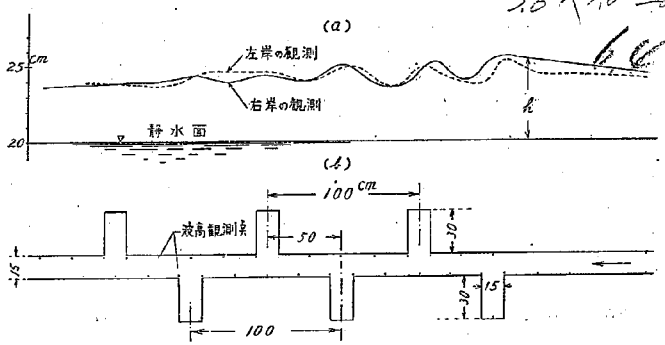
後に[11]　$h=h_0\,0^{-\frac{\theta}{500}}$

なる式を示されてゐるが, 此等の値は第 45 圖に同時に記入した通りである.

上記の結果に依れば長い波に對しては表面の波に於けるよりも方向轉換による損失が小である事は明らかである.

2. 特殊なる防波裝置に關する試驗

第 46 圖 (b) の如く波の進行方向に直角に突出した灣形を多數に有する水路に於ては,



第 46 圖　特殊なる防波裝置

この交互に突出した灣形の爲に波の進行を妨げられると考へられるから, 水平なる水路上に圖の如き灣形をおき主水路内に於ける波の高さの變化を測定した處, 水深が大 (H=40 cm 及 30cm) なる間はその影響は殆ど認められないが, 水深が小なる場合は多少効果が

9) 築港上卷
10) 同　第一版　(明治三十一年)
11) 同　第四版　(大正十三年)

ある樣である．一例として効果が最も顯著である水深.20cm の場合の波の頂の軌跡を第46圖（a）に示した．上に述べた構造では津浪の高さを小にする効果は殆どないと言ふ結果を得た．

V 結 論

上記試驗は主として津浪を長い波と假定して行つたものであり，且つ多くは浪源に對して直接開いてゐる灣内に於ける狀態の試驗であつて地形等の變化による津浪の種々相を包括してゐる譯では勿論ないが，試驗した限りに於て得られた結果の主なるものは

1. 津浪の爲の防浪堤を海中の相當の水深の場所に築く事は餘り有効でない[12]（第 III 章 1 及 3）

2. 防浪堤を海中に設けなければならない時は成可く岸に近くおき，事情が許せば陸上のしかも水際線より成可く遠い所におくのが有効である（第 III 章 1 及 3）．この意味で堅固な護岸は津浪に對して非常に有效である．

3. 海底の縱斷勾配が異る斜面上に同一の津浪が襲來した場合，急勾配上の方が浪が達する高さが大である．（第 II 章 1）．

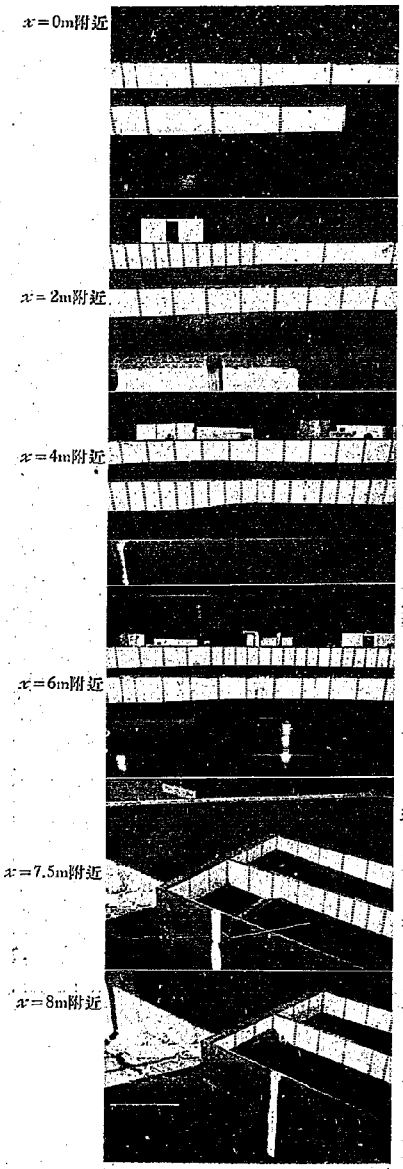
4. 勾配が急な程碎波を生じ難い．（第 II 章 1 及 2）．

5. 碎波を生ずる附近に於て水分子の運動速度が最も大となり，從つて構造物に作用する壓力强度はこの附近に於て最大である．（第 II 章 1）．

6. 開口を有する防浪堤内の波高及浪源に對しある角をなす灣内に於ける浪高の，最初の浪高に對する關係式は夫々（1）及（3）式により示される．（第 III 章 2 及第 IV 章 1）等であつて尙多くの問題が殘されてゐるがその中防浪堤の有効なる構造及之に作用する力等に關する試驗は今尙續行中に屬し玆に發表するに至らなかつた．

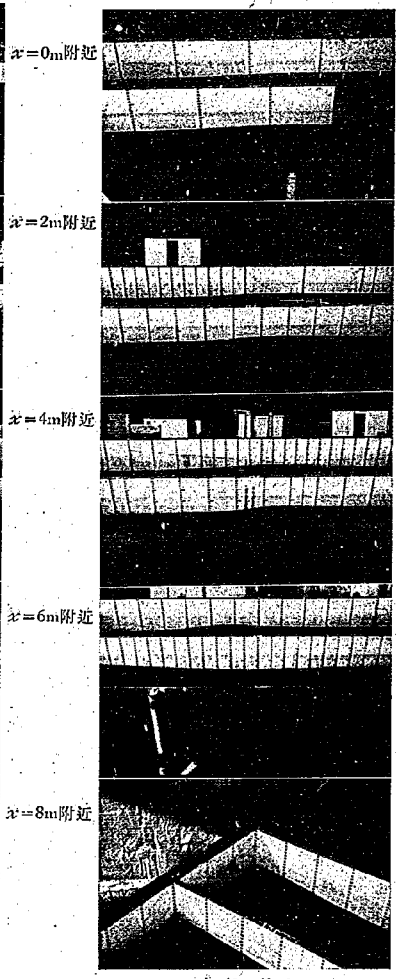
附記 本試驗に就ては所員本間工學士の助力に俟つ所が多い．玆に感謝の意を表する．

12) 前報告（土木試驗所報告 24 號 109 頁）に防浪堤の作用の中第一として述べたものは本試驗の結果誤りである事が明らかとなつたから之を訂正する．



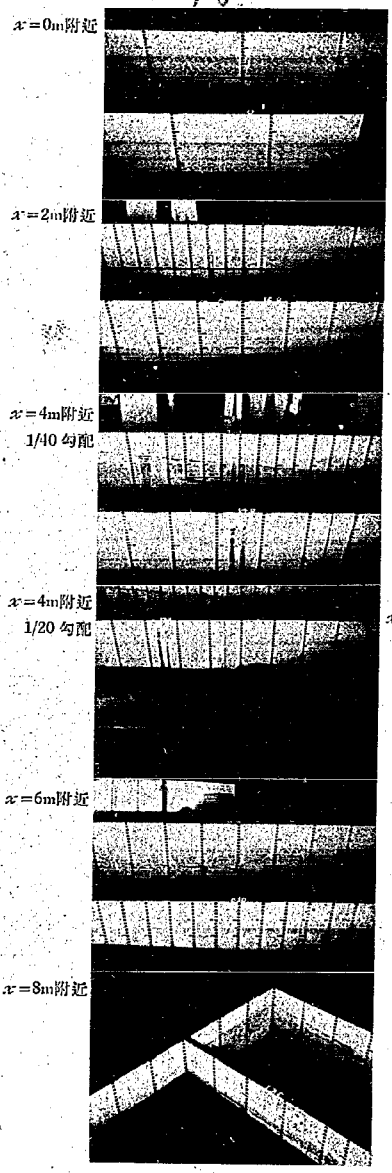
寫眞 第 1

1/40 及 1/20 の底面勾配上に於ける波形，寫眞の手前は 1/20 後方は 1/40 水路，水深 H=40cm

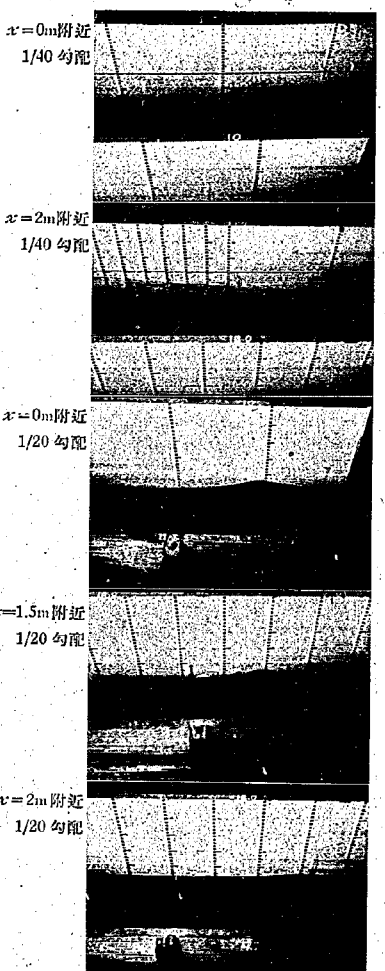


寫眞 第 2

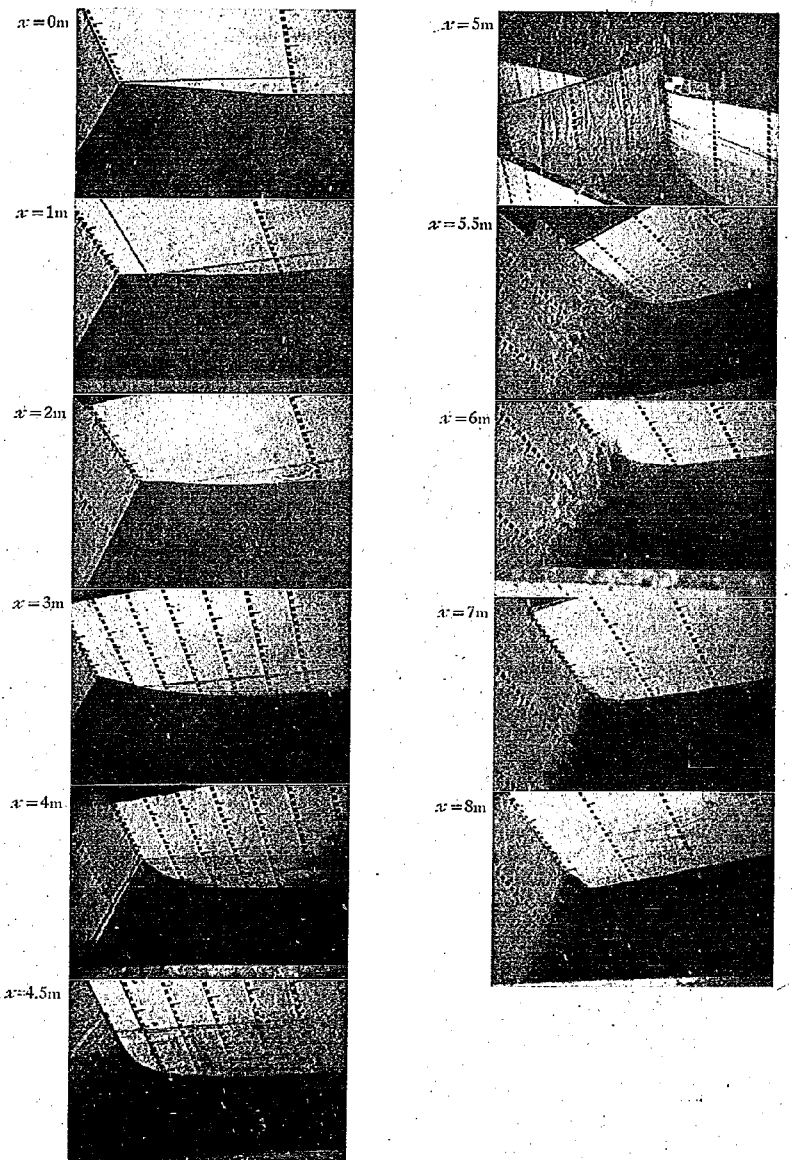
同　上，水深 H=30cm



寫眞 第 3
同 上，水深 H=20cm

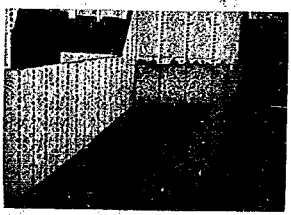


寫眞 第 4
同 上，水深 H=10cm

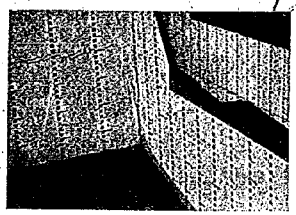


寫眞第 5

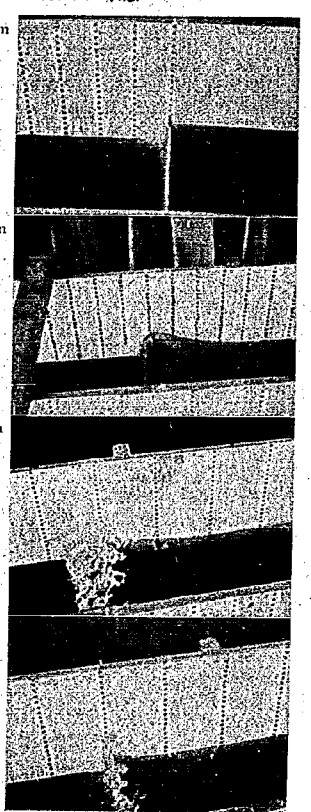
1/40 の底面勾配を有する水路内に於て x の異る各箇所に於て波が壁に衝突する狀態



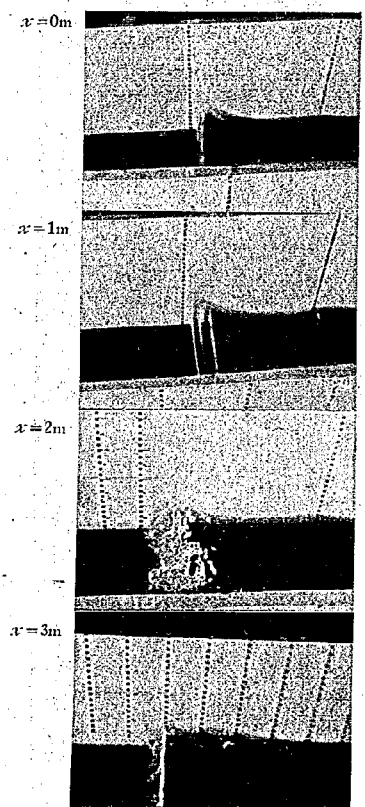
寫眞 第 6
1/8 の底面勾配を有する水路終端にて波が跳ね上る狀態



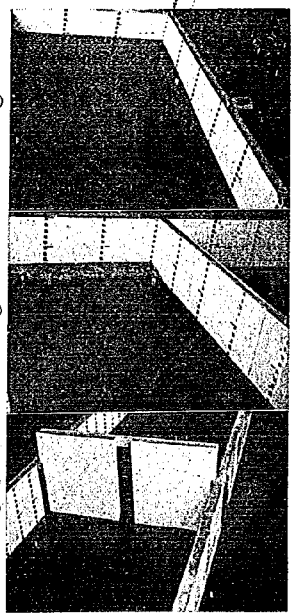
寫眞 第 7
1/4 の底面勾配を有する水路終端の狀態
寫眞の左の矢印まで波は跳ね上つてゐる



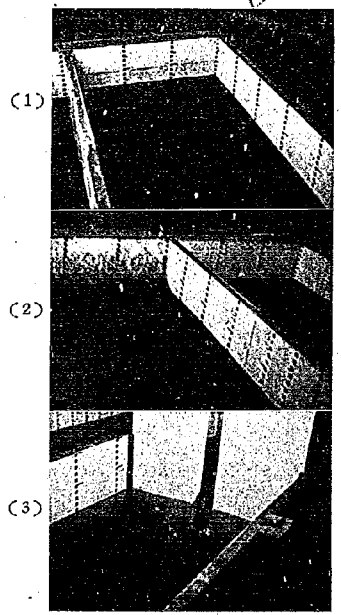
寫眞 第 8
1/40 の底面勾配を有する水路内に於ける阻壁位置の波の狀態，阻壁位置は順次上記の通りであつて水深は何れも
H=20cm η=5cm



寫眞 第 9
同 上 H=10cm η=7.5cm



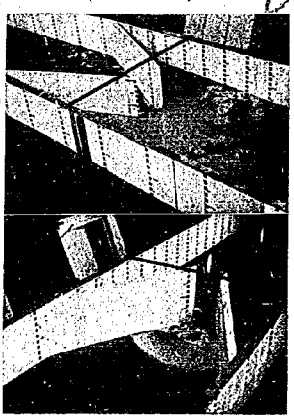
寫眞 第 10 開口を有する阻壁試驗
1/40 勾配 水深 H=40cm



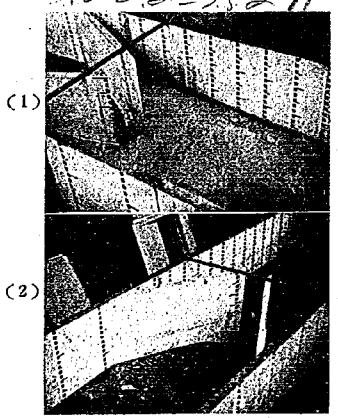
寫眞 第 11 開口を有する阻壁試驗
1/20 勾配 水深 H=40cm

1/20
(1) 阻壁のない場合の水路終端に於ける波の狀態
(2) b=6cm 即 b/B=0.1 の阻壁を x=4m に置いた場合の水路終端
(3) x=8m に於ける狀態
同上阻壁に於ける狀態

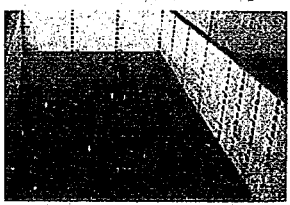
1/40
(1) 阻壁のない場合の水路終端に於ける波の狀態
(2) b=6cm 即 b/B=0.1 の阻壁を x=4m に置いた場合の水路終端
(4) x=8m に於ける狀態
同上阻壁に於ける狀態



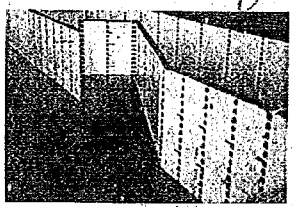
寫眞 第 12 八字形阻壁試驗
1/40 勾配 水深 H=40cm
(1) 波が開口を通る狀態を壁の外側より撮影
(2) 壁の內側より撮影



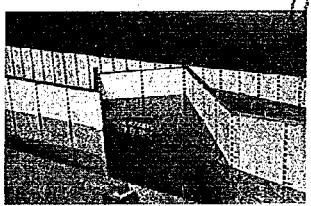
寫眞 第 13 八字形阻壁試驗
1/40 勾配 水深 H=30cm
(1) 波が開口を通る狀態を壁の外側より撮影
(2) 壁の內側より撮影



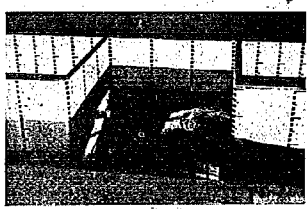
(1) 主水路端に於ける狀態



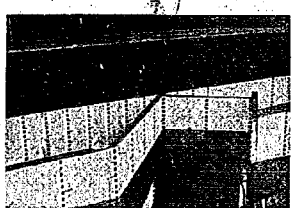
(2) $\theta=22.5°$



(3) $\theta=45°$



(4) $\theta=90°$



(5) $\theta=135°$

寫眞第 14

浮の方向と浪源との關係試驗 底面水平なる水路内に於ける試驗

津浪の變形の理論

本間仁

內容梗概

津浪を完全なる長波と考へ之が陸岸附近にて種々の地形の爲に波形の變化を來す狀態を，傳播的方法によつて解き得る範圍に於て檢討せんと試みたものである．尙之に關する一試驗の結果を附加した．

目次

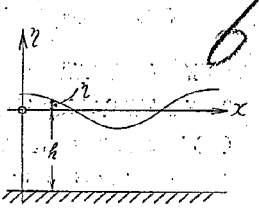
〔1〕緒論……（1）
〔2〕一樣水路內の長波……（2）
〔3〕水深一樣にて幅が exponential に變化する場合……（3）
〔4〕幅及び水深が拋物線形に變化する場合……（3）
〔5〕長波の相似律……（5）
〔6〕水深一樣にて幅が直線的に變化する場合の模型試驗……（7）

〔1〕緒論

海洋中を傳播する津浪は流體力學上の長波と見做し得るものであるが之が陸岸附近にて甚しく變形すれば長波の性質を失ふに至る．而て以下に述べんとする理論は長波の假定に從ふものであるから，自らその適用範圍が存在する筈である．普通の津浪は波高が數米の程度なるに對し波長は數粁に達するのであるから，波形が變形して波高が數倍に增加しても碎波を生ぜぬ限り長波の假定に大なる誤りはないと考へ，理論の適用範圍を大體此處に置いて考察を進める．

先づ本文に於て使用する記號の定義を列記すれば，

η…水面の上昇	h…靜水面までの水深
b…水路幅	u…x方向の流速
ξ…x方向の變位	X…外力又は$\sqrt{x}$
T…波の週期	σ…$2\pi/T$



第 1 圖

一つの水域中を直線的に進む長波を考へ，之が時間的には常に正弦振動をなすものと見做せばηの時間因數（time factor）は$e^{i\sigma t}$となり，運動の一般方程式は[1]

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(bh\frac{\partial \eta}{\partial x}\right)+\frac{b}{g}(\sigma^2-i\sigma f)\eta=0 \quad\cdots\cdots(1)$$

1) 土木學會誌 第十九卷第九號「長波の變形に就て」

但し f は水路床の摩擦抵抗がその斷面の平均流速に比例するものとせる場合の摩擦係數である.

$\sigma^2-i\sigma f=(k_1-ik_2)^2=k^2$ と置けば

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(bh\frac{\partial\eta}{\partial x}\right)+k^2b\eta=0 \quad \cdots\cdots(2)$$

摩擦抵抗を無視する場合は $f=0$, 從つて $k^2=\sigma^2/g$ である. 地形の變化は一つとして幾何學的に表はし得るものはないが, 玆に取り扱ふものは勿論比較的簡單な幾何學的圖形を以て表はされる地形のみである. 之は波の一般的性質を見る上からも當然の事である. 此處に取り扱ふ地形は

1) 幅及び水深の一樣なる水路

2) 水深一樣にて側壁が鉛直なる exponetial surface をなすもの

3) 幅及び水深の一方又は兩方が拋物線形に變化する水路

この中の最後のもの>中には幅及び水深の直線的に變化する場合をも含んでゐる.

〔2〕 一樣水路內の長波

1. 水路床の摩擦抵抗を無視する場合

(2)式を變形すれば

$$\frac{\partial^2\eta}{\partial x^2}+\frac{k^2}{h}\eta=0$$

從つて x 軸の負の方向に進行する波は

$$\left.\begin{aligned}&\eta=A_1\,e^{i(\chi x+\sigma t)}=A_1\cos(\chi x+\sigma t)\\&\text{但し}\qquad \chi=\frac{k}{\sqrt{h}}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(3)$$

この場合は振幅は不變である.

2. 摩擦抵抗を考慮する場合

(3)式に相當する進行波は

$$\left.\begin{aligned}&\eta=A_2\,e^{\chi_2 x+i(\chi_1 x+\sigma t)}=A_2\,e^{\chi_2 x}\cos(\chi_1 x+\sigma t)\\&\text{但し}\qquad \chi=\chi_1-i\chi_2=\frac{1}{\sqrt{h}}(k_1-ik_2)\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(4)$$

從つて振幅は $e^{-\chi_2 x}$ の割合にて波の進む方向に減少する. この減少は摩擦抵抗の影響であるが之は一般に甚だ小さい.[1]

1) 土木學會誌 第十九卷第九號 P. 754

〔3〕 水深一樣にて幅が exponential に變化する場合

1. 摩擦抵抗を無視する場合

水路幅を $b=b_0e^{ax}$ にて表はせば (2) 式は

$$\frac{\partial^2\eta}{\partial x^2}+a\frac{\partial\eta}{\partial x}+\frac{k^2}{h}\eta=0$$

茲に　$\eta=Ae^{(m_1+im_2)x}$ (m_1, m_2 は實數) と置けば

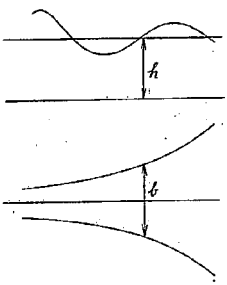
$$(m_1+im_2)^2+a(m_1+im_2)+\frac{k^2}{h}=0$$

故に　$\frac{k^2}{h}>\frac{a^2}{4}$ ならば

$$m_1=-\frac{a}{2},\qquad m_2=\pm\sqrt{\frac{k^2}{h}-\frac{a^2}{4}} \quad \cdots(5a)$$

$\frac{k^2}{h}\leqq\frac{a^2}{4}$ ならば

$$m_1=-\frac{a}{2}\pm\sqrt{\frac{a_2}{4}-\frac{k^2}{h}},\qquad m_2=0 \quad \cdots(5b)$$



第 2 圖

卽ち $\frac{k^2}{h}\leqq\frac{a^2}{4}$ ならば水面は波狀とならない.

$-x$ の方向に進む進行波は $\frac{k^2}{h}>\frac{a^2}{4}$ の場合に

$$\eta=B_1e^{-\frac{a}{2}x+i(m_2x+\sigma t)},\qquad \text{但し} m_2=\sqrt{\frac{k^2}{h}-\frac{a^2}{4}} \quad \cdots\cdots(6)$$

水路の中心線に沿ふ振幅變化の割合は $-\frac{a}{2}e^{-\frac{a}{2}x}$ であるから, 水路幅が夫々 b_1 及び b_2 の場所に於ける振幅を夫々 $2\eta_1$, $2\eta_2$ とすれば

$$\frac{\eta_1}{\eta_2}=\sqrt{\frac{b_2}{b_1}}$$

2. 摩擦抵抗を考慮する場合

$\frac{k_1^2-k_2^2}{h}-i\frac{k_1k_2}{h}-\frac{a_2}{4}=re^{-i\phi}$ とおけば $-x$ 方向の進行波は

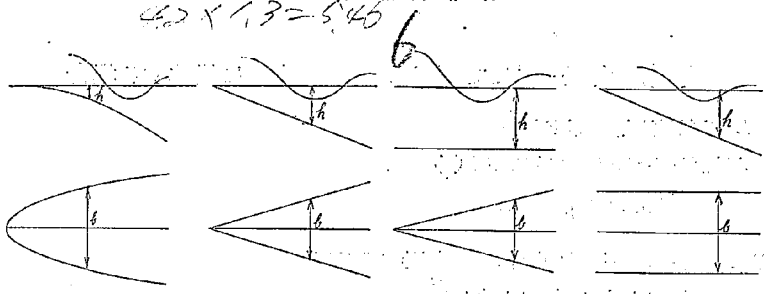
$$\eta=B_2e^{(-\frac{a}{2}+\sqrt{r}\sin\frac{\phi}{2})x+i(\sqrt{r}\cos\frac{\phi}{2}x+\sigma t)} \quad \cdots\cdots(7)$$

この場合も摩擦抵抗の波形に及ぼす影響はあまり大きくない事が計算例等から知られる

〔4〕 幅及び水深が抛物線形に變化する場合

幅及び水深を夫々 $b=dx^n$, $h=cx^m$ ($m>0$, $n>0$) を以て表はす.

(2)式を變化すれば



第 3 圖

$$\frac{\partial^2\eta}{\partial x^2}+\frac{m+n}{x}\frac{\partial\eta}{\partial x}+\frac{k^2}{cx^m}\eta=0 \quad \cdots\cdots(8)$$

(8)式の一般解は $m \neq 2$ の時は $-x$ 方向の進行波に對し

$$\eta=C_1x^{pq}H_q^{1}\left(\frac{kx^p}{\sqrt{c}p}\right)e^{i\sigma t} \quad \cdots\cdots(9)$$

但し $H_q^{1}(x)$ は q 次の HankeL 函數で

$$H_q^{1}(x)=J_q(x)+iY_q(x), \qquad Y_q(x)=\lim_{q\to\text{整数}}\frac{1}{\sin q\pi}\left\{\cos q\pi J_q(x)-J_{-q}(x)\right\}$$

$$p=1-\frac{m}{2}, \quad q=\frac{1-m-n}{2-m}$$

$m=2$ の場合は (8) 式の解は $\frac{2k}{\sqrt{c}} \geqq n+1>0$ の時は

$$\eta=C_2x^{p_1}e^{i(p_2\ln x+\sigma t)} \quad \cdots\cdots(10)$$

但し $p_1+ip_2=-\frac{1}{2}\left\{-(n+1)+\sqrt{(n+1)^2-\frac{4k^2}{c}}\right\}$

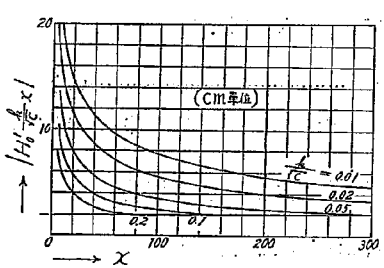
$n+1 \geqq \frac{2k}{\sqrt{c}}>0$ ならば水面は波狀とならない.

1. 一樣水深の場合

この場合は $m=0$ であるから $p=1$, $q=\frac{1-n}{2}$ である. 倘水路幅が直線的に變化する場合は $n=1$ であるから $q=0$ となる. 從つて波の形は (9) 式より

$$\eta=C_3H_0^{1}\left(\frac{k}{\sqrt{c}}x\right)e^{i\sigma t} \quad \cdots\cdots(11)$$

$\frac{k}{\sqrt{c}}$ は (3) 式中の χ に相當する量である. 摩擦抵抗なき場合は振幅は $H_0^{1}\left(\frac{k}{\sqrt{c}}x\right)$ の絶對値に從つて變化する. (第 4 圖)

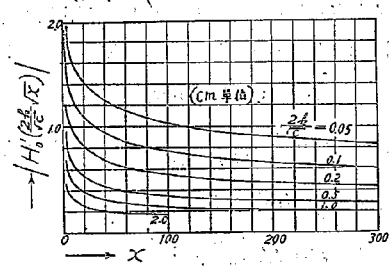


第 4 圖

2. 幅一樣の場合

この場合は $n=0$ であつて，更に深さが直線的に變化する場合は $m=1$ であるから，$p=\frac{1}{2}$，$q=0$ となる．從つて波の形は

$$\eta = C_4 H_0^1\left(\frac{2k}{\sqrt{c}}\sqrt{x}\right)e^{i\sigma t} \quad \cdots\cdots(12)$$



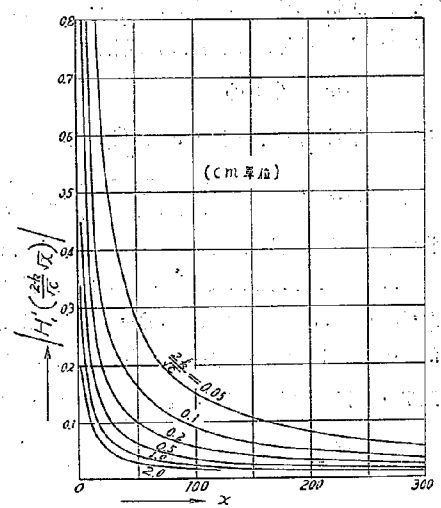
第 5 圖

3. 幅及び水深が共に直線的に變化する場合

$m=n=1$ であるから $p=\frac{1}{2}$，$q=-1$ となり，波の形は次の如く表はされる．

$$\eta = \frac{C_5}{\sqrt{x}} H_1^1\left(\frac{2k}{\sqrt{c}}\sqrt{x}\right)e^{i\sigma t} \quad \cdots\cdots(13)$$

振幅は前と同樣に $H_1^1\left(\frac{2k}{\sqrt{c}}\sqrt{x}\right)$ の絶對値に從つて變化する．その狀態は第 6 圖に示した．



第 6 圖

4. 摩擦抵抗を考慮する場合

この場合は k が複素數であるから振幅は Hankel 函數の絶對値にて表はすことは出來ない．二三の簡單な場合に限り複素變數の圓壔函數の展開を用ひて計算し得るが[1] 摩擦抵抗の影響は著しくないと考へて之を省略する．

〔5〕 長波の相似律

相似形に近き二個所の地形に於ける波の比較，又は模型試驗の結果との比較の爲に，上に得たる進行波の一般解を用ひてその相似律を導入する．先づ摩擦抵抗のない場合を考へる．

1) 土木學會誌 第十九卷第九號 P. 749 より P. 751

今鉛直方向の諸量を總て n_1 倍し水平方向の諸量を總て n_2 倍せる地形に於ける波の週期は元のもの m 倍となるものとする．その時 k 及び η の値は夫々 K, H とする．

$$K=2\pi/(mT\sqrt{g})=k/m$$

從つて $\chi=\frac{k}{\sqrt{h}}$ は $\frac{\chi}{m\sqrt{n_1}}$ となる．一樣水路の場合は

$$\eta=A_1 e^{i(\chi x+\sigma t)}$$

$$H=A_1' e^{i\left(\frac{n_2}{m\sqrt{n_1}}\chi x+\sigma t\right)}$$

A_1 及び A_1' は $x=0$ に於ける波の半振幅である． 故に

$n_2/(m\sqrt{n_1})=1$ となる樣に擇べば

$$\eta/A_1=H/A_1'$$

となり相似律が成立する．又幅が exponential に變化する場合は上の條件の他に a を $1/(m\sqrt{n_1})$ 倍すれば $\frac{a}{2}x$ 及び $\sqrt{\frac{k^2}{h}-\frac{a^2}{4}}x$ は $\frac{n^2}{m\sqrt{n_1}}=1$ 倍となり相似律は成立する．

幅及び水深が抛物線形に變化する場合は

$$h=cx^{\mu} \quad (\mu>0)$$

とすれば縮尺を變へたる後は c は $\frac{n_1}{n_2{}^{\mu}}c$ となり η は

$$H=C_1' n_2{}^{pq}x^{pq}H_q{}^{1}\left(\frac{1}{m}\sqrt{\frac{n_2{}^{\mu}}{n_1}}\frac{k}{\sqrt{c}p}n_2{}^{p}x^{p}\right)e^{i\sigma t}$$

從つて後に述べる樣に幅及び水深の一方が一樣で他方が直線的に變化する場合の他は振幅の變化には幾何學的相似は成立しない．水深一樣にて幅が直線的に變化する場合は $\mu=0$, $p=1$, $q=0$ であるから $n_2/(m\sqrt{n_1})=1$ ならば相似律は成立する．幅一樣にて水深が直線的に變化する時は $\mu=1$, $p=\frac{1}{2}$; $q=0$ であるから同じく $n_2/(m\sqrt{n_1})=1$ ならばよい．p 及び q が何れも零とならぬ場合は $\frac{1}{mn_1}n_2{}^{\frac{\mu}{2}+p}=1$ としても

$$\frac{H}{C_1'}=\frac{\eta}{c_1}n_2{}^{pq}$$

の形となる．

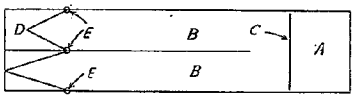
尙摩擦抵抗のある場合の相似律は近似的となることは避け難き事であるから上述の法則が大體適用し得るものと見做す．

〔6〕 水深一樣にて幅が直線的に變化する場合の模型試験

以上に述べたる理論の中より水深一樣にて幅が直線的に變化する場合の波形の變化を模型試驗の結果より觀察して，理想的の條件の下に導入した理論に現れる以外のやゝ著しい傾向に就て檢討を行ふ資料とする．この場合の波形は（11）式より與へられるが限界條件が $x=l$　にて $\eta=\eta_0 e^{i\sigma t}$ ならば

$$\eta=\eta_0\frac{H_0^1\left(\frac{k}{\sqrt{c}}\sqrt{x}\right)}{H_0^1\left(\frac{k}{\sqrt{c}}\sqrt{l}\right)}e^{i\sigma t} \quad \cdots\cdots(14)$$

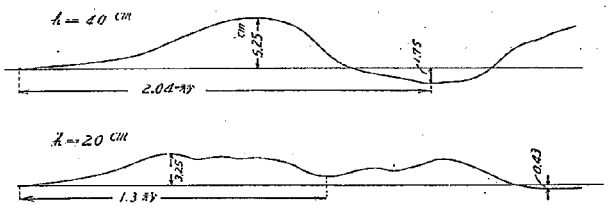
試驗に用ひた水槽は本號松尾技師の試驗報告「津波の災害防止に關する模型試驗」第2頁中に示されたものであつて，その先端に圖の如き二種の模型を作る．



第　7　圖

模型の縮尺は大體に於て鉛直にて 1/100，水平にて 1/5,000～1/10,000 の程度を標準として設計した．從つて週期は 1/500～1/1,000 に縮少され，10～20 分の週期の波は模型に於ては週期 1～2 秒程度のものとなる．

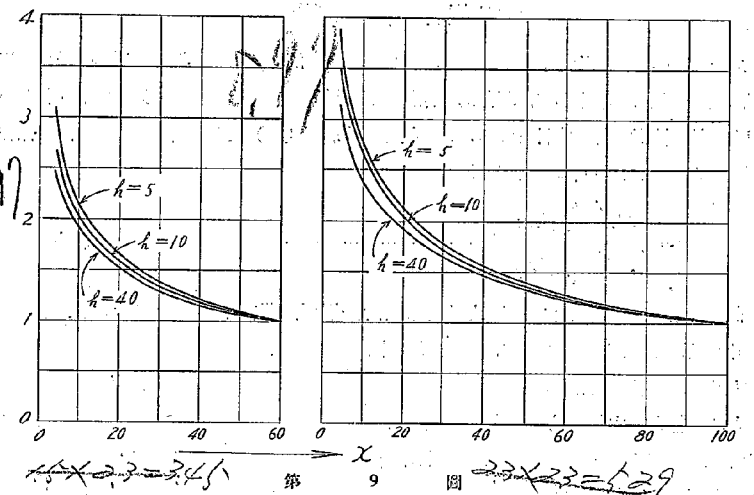
波を起す方法は第7圖の A 部の水深を B 部よりも 15cm だけ高くしておき扉 C を引き上げるのであるが，生じた波の形は第8圖にその一例を示す樣に完全なる形ではないから，波の先端部の半波長に對して測定を行ふ．但しこの波形の實測には徑 5cm 程度の浮子を用ひたからその浮沈による誤差も含まれてゐる．



第　8　圖

先づ B 部の水深をある値に保ち水面にアルミニウム粉末を浮べ，之に上記の方法に依つて波を送り，圖の如き二種の灣形の內部に於ける波高の變化を寫眞及び壁面のアルミニウム粉末の痕跡によつて讀んだものであるから，その精度は 5mm 程度までのものである．實測値を示す前にこの奥行 60cm 及び 100cm の灣の模型に就いて理論式（14）によつて

計算した振幅變化の狀態を第9圖に示した．之は灣口に於ける半振幅を1として灣内各點の半振幅の値を計算したものである．



第 9 圖

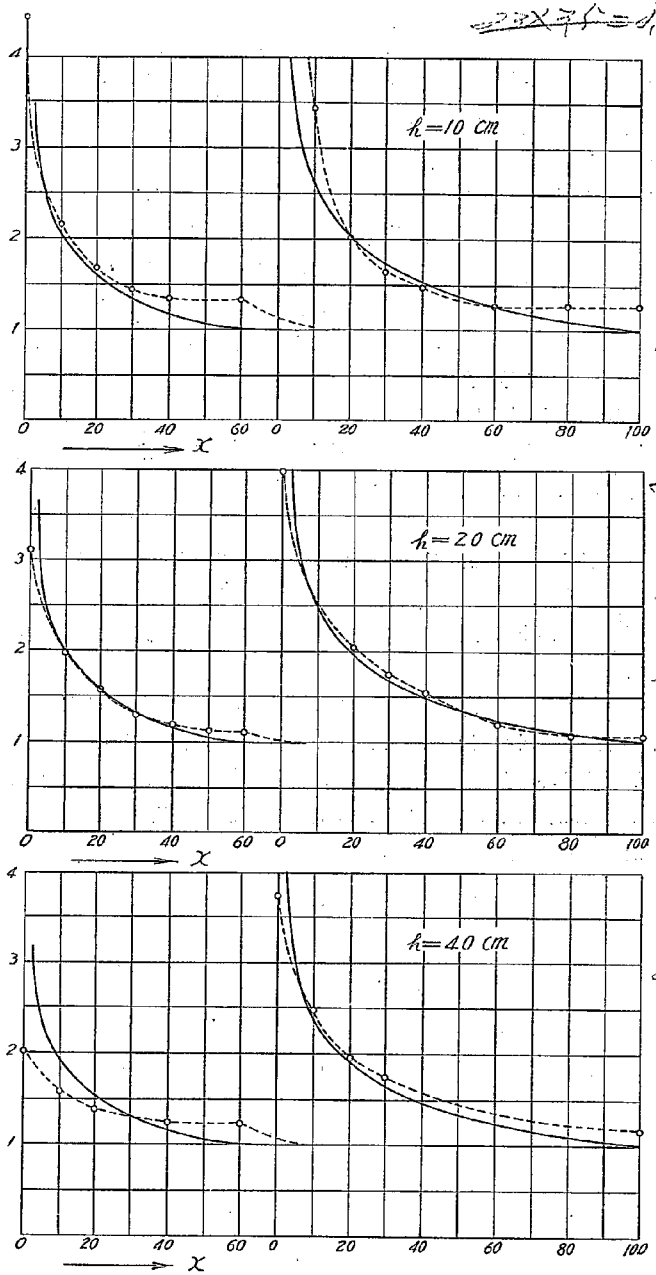
第 10 圖はかくして得たる計算値と實測値とを比較せるものであつて，圖中實線は計算値，點線は實測値である．又 h を以て示した數値は B 部（第7圖）の靜水時に於ける水深である．實測曲線は灣口にて何れも1より大となつて居るが，之は一樣幅の水路より急に灣形に移る爲に壁面附近の E 部（第 7 圖）では衝突等の原因から水面が局部的に上昇する．而て實測曲線は壁面に沿ふ波高の變化を讀むのであるからこの局部的上昇が現はれてゐる．

扨この試驗によつて觀測せんとする主なる點は灣の奥行の大小及び靜水時の水深の大小が波高變化に及ぼす影響であつて，奥行の大小に關しては大體理論式（14）からも期待される樣に，灣の奥部に於ける振幅は奥行の大なる程大きくなつてゐる．

次に水深 h の大小に關しては第10圖中の各場合につき一々説明を試みることゝする．

先づ $h=40$cm の場合を見るに波高の增大は理論式より豫期されるものよりも相當に小さく，殊に灣の奥行の小さい場合卽ち二側壁のなす角の大なる場合にこの差が甚しい．その理由として直ちに想像されるのは側壁による波の反射で，之が爲に波の勢力傳播が妨げられ同時に運動の二次元性が失はれる．尙その他の理由として水深が他の量に比して比較的大なる爲に水域内の自由振動が起り易い事も考へられる．

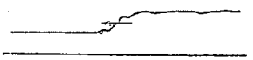
$h=20$cm の場合は比較的理論値に近い實測値が得られてゐる．卽ち模型の變形率（Dis-



第 10 圖

tortion）としては適宜のものであると考へられる．然し之は理論に用ひた條件に近付ける爲の變形率であつて實際問題に近からしめる爲の變形率ではないから，試驗としては更に色々の水深に就ても行ふ必要がある．

$h=10$cm の場合の波は以上の二つの場合と異り常に灣内にて碎波の現象を呈した．卽ち波はある地點にて第 11 圖の如き形となつて遂に波形を失ひ，以後は水は流水の狀態を呈しつゝ灣の奥部に衝突する．從つて波形の變化する狀態は一見理論式より得たるものに近くなつてゐる．卽ち最奥端の水の上昇する高さに就て見ても，奥行の大なるものゝ方がこの上昇が著しい．



第 11 圖

之より觀れば碎波の起る限界水深は 10cm と 20cm の間にあり，之は進入する波の波高及び波長によつて變化するものである．碎波に關する相似律は未だ確立するに到らないから茲には模型試驗に於ける事實を述べるに止める．

津浪の災害は碎波を生じて後の運動勢力によるものが多く，その防止には運動勢力を減殺するか又は碎波を生ずる前に波高の增大を防止する方法を講じなければならない．上に述べた理論及び實驗は主としてこの第二の方法に對する基礎となるべきものを與へんとした試みであつて，碎波の理論なくしては完全なるものではないが實驗の結果を伴へば一資料となり得ると思ふ．

尙水深の變化による波形の變形及びその時の碎波の現象に關しては松尾技師の試驗報告「津浪の災害防止に關する模型試驗」中に述べられてゐる．從つて茲には述べないが唯理論式に於ては靜水時の水深零の位置にて振幅が無限大となるが，之は實際に反しこの部分が假定條件の適用範圍外にあることを示す．卽ちこの場合の理論式は前述の場合に比してその適用範圍は可成り狹くなつてゐる．

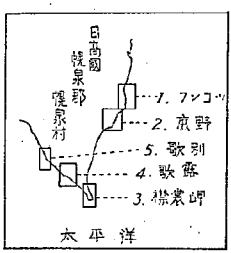
三陸津浪調査報告（追加）

内務技師　松尾春雄

本所報告第 24 號に掲げた三陸津浪調査報告の附圖として掲げた，各地津浪の高及侵水區域圖は著者が實地に踏査した岩手，宮城兩縣下の分のみであつたが，その後北海道廳及青森縣の土木當局に依頼して調査した結果を追加として茲に附圖として掲ける．卽ちこの分は著者が踏査したものでなく專ら兩當局の調査に依るものである．

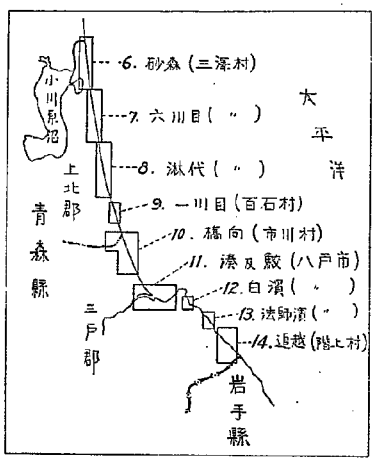
記入の數字は昭和 8 年 3 月 3 日拂曉の大津浪が達した最高點の中等潮位上の高さを m で表はしたもの，黑點は測點，太い實線は浸水區域である．尙圖の太い破線は明治 29 年 6 月 15 日の三陸大津浪の浸水區域であつて分明したもののみに就て之を記入した．

第 1 及 2 圖は附圖の各圖番號の位置を示したものである．



第 1 圖　北海道襟裳岬附近

1.2×1.3=1.56 6



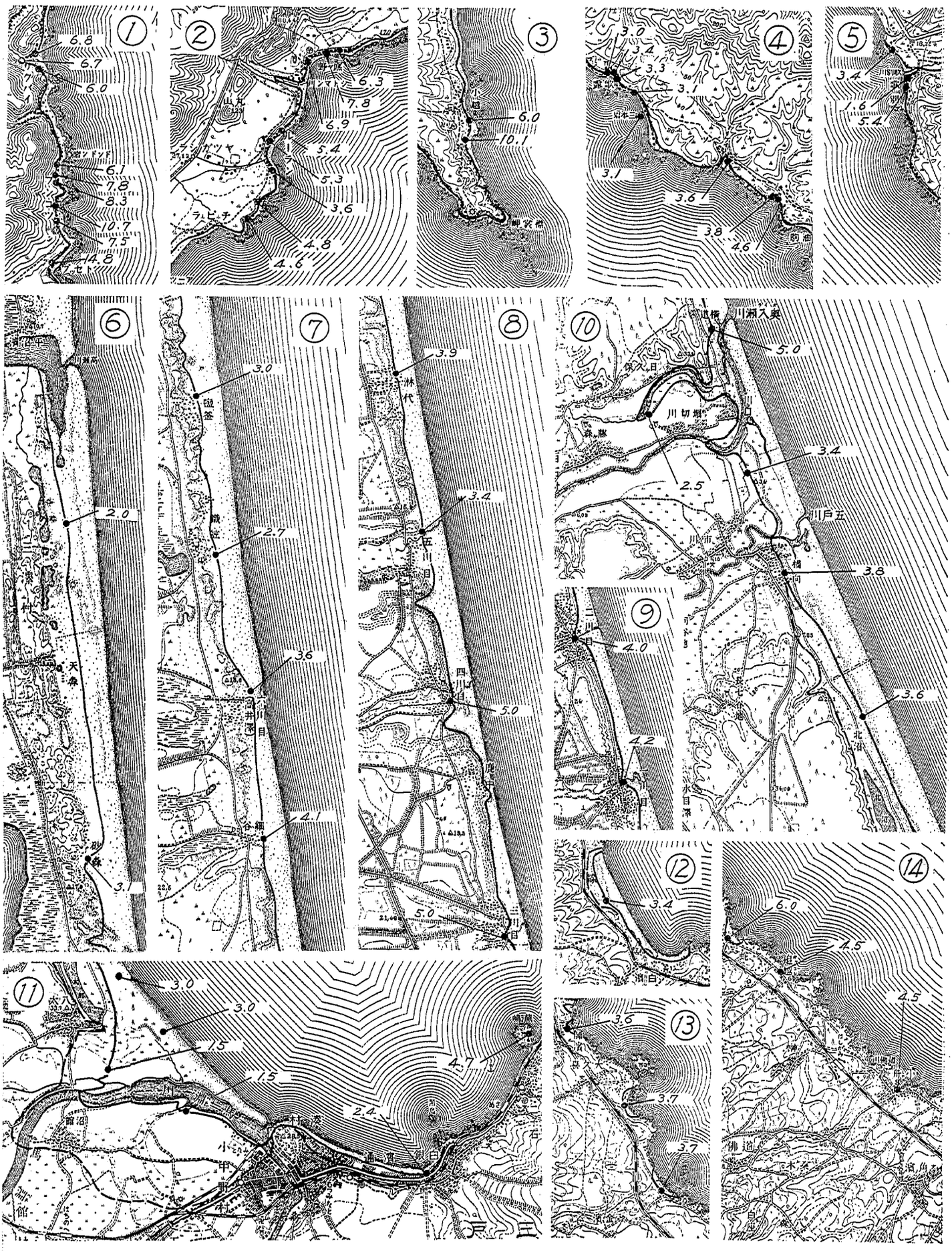
第 2 圖　青森縣東部

20×2.4=4.8 6

附　圖　　北海道及青森縣津浪浸水高及區域

1 北海道日高國幌泉郡幌泉村フンコツ.　**2** 同　庶野.　**3** 同　襟裳岬.　**4** 同　歌露.　**5** 同　歌別.
6 青森縣上北郡三澤村砂森.　**7** 同　六川目.　**8** 同　淋代.　**9** 同郡百石村一川目.　**10** 同郡市川村橋向.
11 八戸市湊及鮫.　**12** 同　白浜.　**13** 同　法師浜.　**14** 同郡階上村道越.

黒點は昭和8年3月3日津浪高測點を示し記入の數字はその最高點の中等潮位上の高さ（m），——— 同浸水區域，------ 明治29年6月15日の津浪浸水區域



自動車の路面に及ぼす衝撃に關する研究 (其の二)

內務技師　松　村　孫　治

第三章　試驗結果との比較

第五節　米國道路局の衝撃試驗

自動車の衝撃試驗は室內又は現場に於て Becker[4]氏, Bobeth[5]氏, 米國道路局[6]等により行はれた. 就中米國道路局の衝撃試驗はその規模最も大にして 1921 年 3 月 Public Roads 誌上に報告を發表して以來 1932 年 11 月に至る迄同誌上に發表されし報告は 10 通の多きに及んでゐる. 同試驗もその初期に於ては測定裝置の不備, 試驗方法の宜しからざる爲, その結果も數量的には信賴するに足らず, 各因子の衝撃に及ぼす影響の大體の傾向を知り得るに過ぎなかつた. 然し試驗の回數を繰返すと共に測定裝置も漸次改良され近年に至りその結果は數字的にも信賴し得る程度に至つた. 本文に於て比較せんとする試驗は最も新しく發表されしものにしてその試驗結果も最も信賴し得ると考へらる.

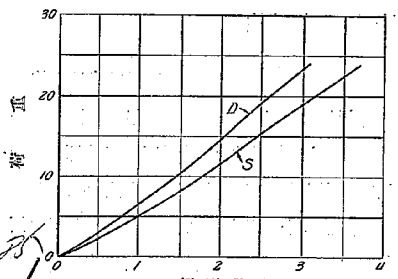
本試驗に使用したるは軸距 240″ の大型乘合自動車の車臺にて 24,000 lbs の重量を支持する如く設計されてある. 前軸の荷重は 8,000 lbs にて 9.75″−24″ のバルン・タイヤ (balloon tire) を, 後軸の荷重は 16,000 lbs にて 9.75″−24″ の複式 (dual) 及 12.75″−24″ の單式 (single) バルン・タイヤを交互に使用し得る如く裝置されてある. 試驗中に於ける自動車の速度は最高 80 哩/時 に達してゐる. 衝撃は路面上に設置したる人工の障碍物, 並に修理を必要とする程度に破損したる自然の路面にて測定された. 人工の障碍物は第 13 圖に示す如き大さの三角形及矩形の二種類にして, 自然の路面はその凹凸の形狀極めて複雜なるも其の內の二三のものは比較的簡單にして, 近似的に三角形, 矩形又は正弦曲線にて示し得る. 本章に於てはかゝる障碍物に就て第二章の諸式より求めたる計算値と試驗値とを比較せんとす.

一般に後輪の路面に作用する壓力は前輪より大にして且つ本試驗に於ては衝撃の大さを後輪に就てのみ求めたるを以て本章の計算も亦後輪のみに止めた.

後輪の彈下荷重の重量は輪帶の種類により異なるもその平均値を用ひ 1,817 lbs とする, 從つて後輪一個に作用する全重量は 8,000 lbs なるを以て彈上荷重は 6,183 lbs となる.

第 12 圖に示す如く車輪の變形量と荷重との比は荷重の大さに關係し, 荷重大なる程變

形量の增加率小となる．然しその變化は圖に示す如く小なるを以て（特に變形量小なる場所を除き）近似的には荷重に無關係と見做して差し支へなく，又後節に示す如く車輪の彈性率（荷重/變形量）と衝擊とは近似的に比例するを以て車輪の彈性率を常數としたる爲に生ずる誤差の範圍を推定するは容易である．從つて本文に於ては c_1 の値は荷重に無關係とし，且つその大さは 1″ の撓みを生ずるに要する荷重と，1″ 撓めるものを更に 1″ 撓めるに要する荷重の平均値を用ひ，複式タイヤに對しては 7,282 lbs，單式タイヤに對しては 5,890 lbs にとつた．車體を支持する彈條の强さは本報告中に明記せず從つて試驗に如何なる强さの彈條を使用したるかは明かならざるも 1921 年の報告(7)の第 3 圖に示す各種彈條の靜荷重による撓み曲線を見るに荷重と撓みとの比は略一定にして c_2 の値は常數と見做して差し支へなく，又後節に示す如く衝擊の大さに及ぼす彈條の强さの影響は本文にて取り扱ひし範圍に於ては極めて小なるを以て c_2 の値を適當にとり差し支へなきを知る．從つて本計算に於ては第 3 圖の略中位の强さをとり c_2=2,500 lbs とした．本計算に使用する資料を總括すれば

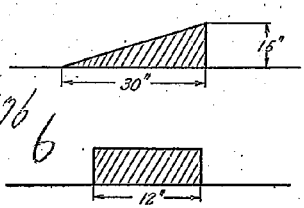


第 12 圖
車輪の變形量と荷重との關係
D 複式バルン・タイヤ
S 單式バルン・タイヤ

m_1=1,817 lbs　c_1=7,282 lbs(複式タイヤ)，　5,890 lbs (單式タイヤ)

m_2=6,183 lbs　c_2=2,500 lbs.

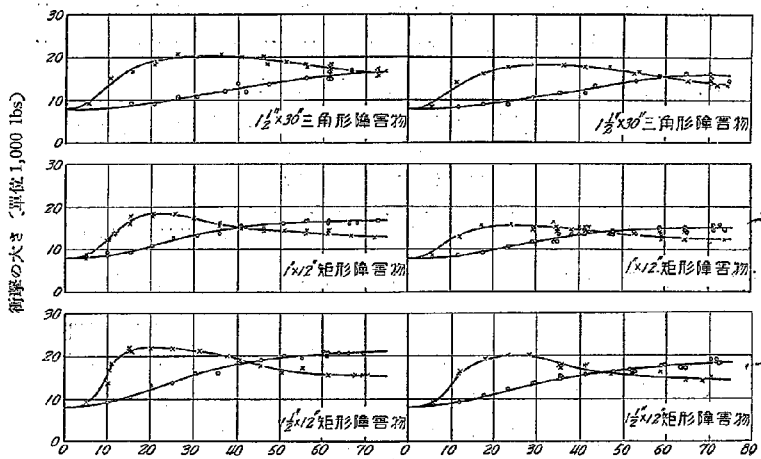
人工の障碍物の形狀は第 13 圖に示す如く三角形及矩形にして三角形のものは幅30″，高さ 1.5″，矩形のものは幅 12″，高さは 1″ 及 1.5″ の二種である．



第 13 圖
人工の障碍物の形狀

人工の障碍物による衝擊の大さと速度との關係を第 14 圖に示す．圖中 shock と稱するは障碍物上に車輪が乘り上りたる場合に生ずる衝擊を意味し，drop とは障碍物より落下し再び路面に接觸したる後に生ずる衝擊を意味し，いづれの場合も各速度に於ける最大値を示す．自然の路面に於ける衝擊の試驗結果は第八節に示す．

(1) 複式バルン・タイヤ (2) 單式バルン・タイヤ



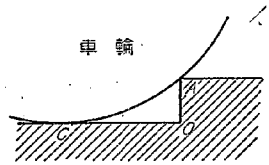
第 14 圖

人工の障碍物による衝撃の大さ

o shock , × drop

第六節 shock の値の比較

三角形の障碍物による shock の値は車輪と路面とは絶えず接觸するを以て (24)$_2$ 式の第 2 式より求めらる．之に反し矩形の障碍物による shock の値は矩形障碍物に乘り上る際の車輪の通路が矩形なりとして (20) 式より求めるは不可能である．車輪が矩形障碍物に乘り上る機構を考ふるに第 15 圖に示す如く車輪が矩形障碍物の一端 A に達する時 A を中心として週轉運動を起し車輪が上方に移動すると共に C 點に於ける路面と車輪との接觸面は減少し，A 點に於ける路面に作用する壓力が增加すると共に A 點附近の車輪と路面との接觸面も亦增加し，車輪が C 點に於て路面を離れ車體の全重量は A 點に於て支持さるゝに至る．かく車輪が矩形障碍物上に乘り上る經路は複雜にして實際の車輪の下端の通路を求めるは極めて困難である．本節に於ては計算を簡單ならしめる爲に第 15 圖に示す如く車輪が障碍物の一端 A に接觸する時車



第 15 圖

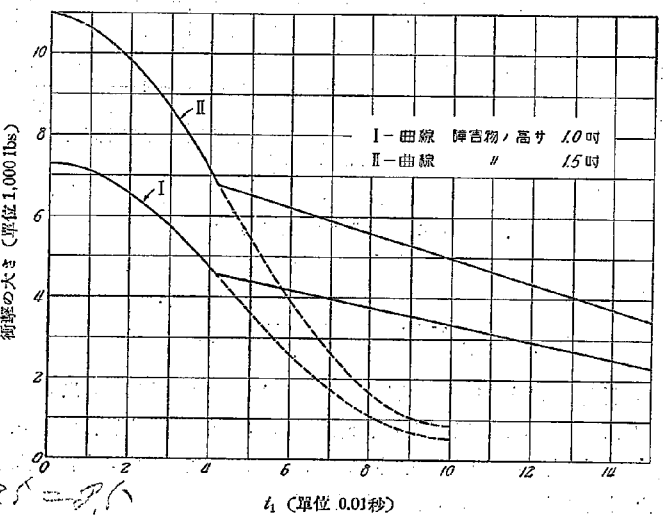
輪と路面との接觸點を C とし，(實際は路面と車輪とは或る面積にて接觸する)車輪の下端が CA なる假想路面を通過すると考ふれば，P の値は (26) 式より求められる．然るに P の最大値は自動車の速度の小なる場合を除き一般に斜面を登り上りたる頂點に於て生ずるを以て (23) 式の第 2 式により P の値は次の如く示さる．

$$P=\frac{c_1\varepsilon}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{t_1-t_0}+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{t_1-t_0}\right\} \quad \cdots\cdots(33)$$

障碍物に登り上らんとする瞬間を時間の原點とすれば $t_0=0$ にして

$$P=\frac{c_1\varepsilon}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2}\frac{\sin\beta_1 t}{t_1}+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2 t}{t_1}\right\} \quad \cdots\cdots(34)$$

但し t_1 は障碍物の頂點に達するに要する時間を示す．



第 16 圖

三角形障碍物による shock の値 (複式バルン・タイヤ)

t_1=斜面を登り上るに要する時間，c_1=7,282 lbs，c_2=2,500 lbs.

全靜荷重 8,000 lbs.

圖中點線にて示せる部分は衝撃の最大値が斜面の途中にて生ずる場合にて，實線は斜面を登り終る迄に生ずる最大値を示す．

複式バルン・タイヤに對する P の値は (34) 式より

$$\left.\begin{aligned} P&=\frac{1}{t_1}\{112.90\sin 46.07\,t+194.88\sin 10.68\,t\} \quad \varepsilon=1.0''\\ &=\frac{1}{t_1}\{169.35\sin 46.07\,t+293.32\sin 10.68\,t\} \quad \varepsilon=1.5''\end{aligned}\right\}\cdots(35)_1$$

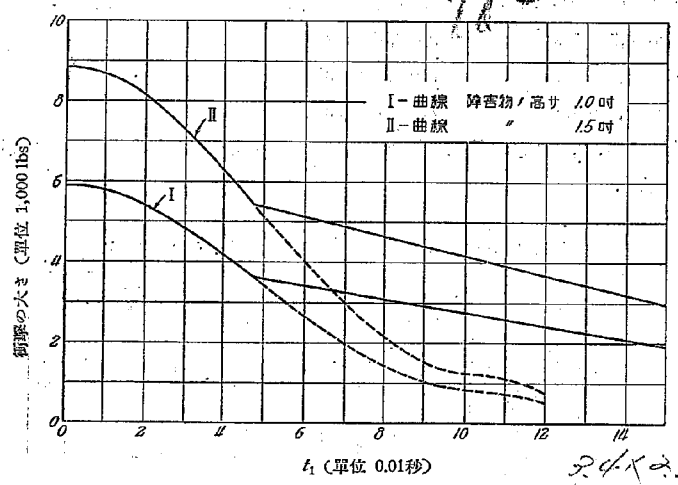
$(35)_1$ 式に示す P の値を第 16 圖に示す。

單式バルン・タイヤに對する P の値は

$$\left.\begin{aligned} P&=\frac{1}{t_1}\{91.26\sin 42.82\,t+191.87\sin 10.33\,t\} \quad \varepsilon=1.0''\\ &=\frac{1}{t_1}\{136.89\sin 42.82\,t+287.80\sin 10.33\,t\} \quad \varepsilon=1.5''\end{aligned}\right\}\cdots(35)_2$$

$(35)_2$ 式の P の値を第 17 圖に示す。

上記の結果は c_1 を複式タイヤに對し 7,282 lbs, 單式タイヤに對し 5,890 lbs, c_2 を 2,500 lbs として求めたるが, c_1, c_2 の値の變化が P に及ぼす影響を知る爲に三角形の障碍物の shock の値に就て比較を行はんとす.



第 17 圖

三角形障碍物による shock の値（單式バルン・タイヤ）
t_1=斜面を登り上るに要する時間, c_1=5,890 lbs, c_2=2,500 lbs.
全靜荷重=8,000 lbs.
實線及點線は第 16 圖に於けると同樣の意味を有す.

(a) 車輪の强さの影響 (c_1 の値)

複式バルン・タイヤに對し次の三つの場合に就て比較する.

1. $c_1=6{,}264$ lbs　　$c_2=2{,}500$ lbs
2. $c_1=7{,}282$ lbs　　$c_2=2{,}500$ lbs
3. $c_1=8{,}300$ lbs　　$c_2=2{,}500$ lbs

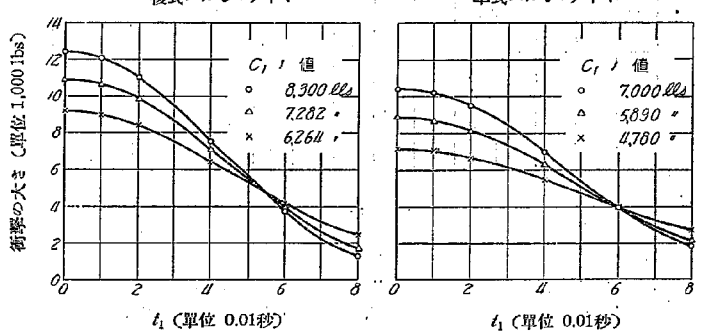
1 は車輪に 1″ の撓みを生ずるに要する荷重, 3 は 1″ 撓めるものを更に 1″ 撓めるに要する荷重, 2 は 1 と 3 との平均値を示す. 1, 2, 3 に相當する P を夫々 P_1, P_2, P_3 とすれば是等の値を (36) 式又は第 18 圖 (a) に示す. (但し $s=1.5''$ とす)

$$\left.\begin{aligned} P_1&=\frac{1}{t_1}\{125.15\sin 45.29+353.60\sin 9.96\,t\}\\ P_2&=\frac{1}{t_1}\{169.35\sin 46.07\,t+293.32\sin 10.68\,t\}\\ P_3&=\frac{1}{t_1}\{191.43\sin 48.31\,t+294.40\sin 10.86\,t\}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(36)$$

單式バルン・タイヤに對しても複式の場合と全く同樣に次の三場合を比較する.

1. $c_1=4{,}780$ lbs　　$c_2=2{,}500$ lbs
2. $c_1=5{,}890$ lbs　　$c_2=2{,}500$ lbs
3. $c_1=7{,}000$ lbs　　$c_2=2{,}500$ lbs

此の場合の 1, 2, 3 は夫々複式の場合の 1, 2, 3 に相當する. 是等の P の値を第 18 圖 (b) に示す.



第 18 圖
車輪の强さの衝撃の大さに及ぼす影響(三角形の障碍物)
衝撃の大さは頂點即ち $t=t_1$ の値を示す

c_1 の及ぼす影響は第 18 圖より之を推定し得る。今衝撃の最大なる $t_1=0$ の P の値は (34) 式に示す如く c_1 に比例する．從つて複式バルン・タイヤに對しては $P_1=0.86\,P_2$, $P_3=1.14\,P_2$ にして最大の差は 14%, 單式バルン・タイヤに對しては $P_1=0.81\,P_2$, $P_3=1.19\,P_2$ にして最大の差は 19% に過ぎず．而して實際の場合 c_1 を 2 の値に假定する爲に生ずる誤差は上記の値より著しく小なるは想像するに難くない．

(*b*) 彈條の强さの影響 (c_2 の値)

複式バルン・タイヤに對し次の二つの場合に就て比較する．

1. $c_1=7{,}282$ lbs　　$c_2=2{,}500$ lbs
2. $c_1=7{,}282$ lbs　　$c_2=3{,}250$ lbs

1, 2 に相當する三角形の頂點に於ける P の値（一般に最大なり）を夫々 P_1, P_2 とすれば第 1 表に示す如し．

第 1 表　衝撃の大さに對する c_2 の影響

複式バルン・タイヤ

t_1 (秒)	0.005	0.01	0.02	0.04	0.06	0.1
P_1 (lbs)	10,850	10,644	9,841	7,105	3,952	877
P_2 (lbs)	10,850	10,648	9,836	7,152	4,143	1,530

t_1…三角形の頂點に達するに要する時間，障碍物の高さ 1.5″，全靜荷重 8,000 lbs.

單式バルン・タイヤに對しても複式と同樣に

1. $c_1=5{,}890$ lbs　　$c_2=2{,}500$ lbs
2. $c_1=5{,}890$ lbs　　$c_2=3{,}250$ lbs

1, 2 に相當する P_1, P_2 の値を第 2 表に示す。

第 2 表　衝撃の大さに對する c_2 の影響

單式バルン・タイヤ

t_1 (秒)	0.005	0.01	0.02	0.04	0.06	0.1
P_1 (lbs)	8,788	8,652	8,122	6,276	4,021	1,242
P_2 (lbs)	8,772	8,641	8,116	6,304	4,150	1,732

t_1…三角形の頂點に達すに要する時間，障碍物の高さ 1.5″，全靜荷重 8,000 lbs.

第 1 表，第 2 表より P の値最大なる $t_1=0$ の附近に於ては P_1 と P_2 とは殆んど相等し．從つて c_2 は衝撃の大さに對し殆んど影響なきことを知る．

1. 三角形の障碍物

三角形の障碍物は幅 30″ なるを以てそれを通過するに要する時間 t_1 を求むれば

第3表 三角形の障碍物を通過するに要する時間

v (哩/時)	10	20	40	60	80
t_1 (秒)	0.170	0.085	0.043	0.028	0.021

第 16 圖, 第 17 圖より上記の速度に相當する P の値を求むれば第4表の如し.

第4表 三角形障碍物による shock の最大値 (單位 lbs)

(障碍物の高さ 1.5″, 全靜荷重 8,000 lbs)

v (哩/時)	10	20	40	60	80
複式バルン・タイヤ	2,280 *	4,420 *	6,640	8,920	9,280
單式バルン・タイヤ	1,970 *	3,820 *	5,984	7,440	8,050

表中 * を附せるは t_1 の値大なる爲斜面の中途にて P が最大となる場合にして上表にはその最大値を示す. その他の場合は總て P は頂點に於て最大となる.

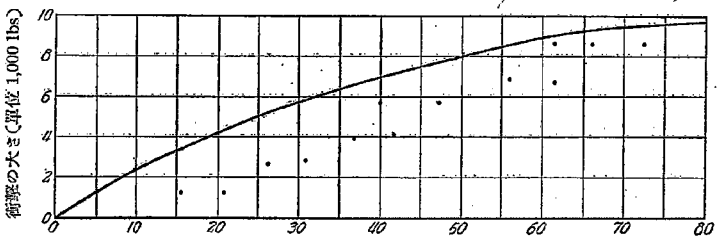
第4表より求めたる P の値と測定値とを第 19 圖に示す.

(a) 圖に示す如く複式バルン・タイヤに於ては測定値はいづれも計算値より小にして, $v=80$ 哩/時 迄に於ける兩者の最大値を比較するに計算値は測定値の 1.11 倍なれど (實際測定したる際の最大速度は 80 哩/時 以下なるを以て比は更に小なり). $c_1=6{,}264$ lbs とする時は $v=80$ 哩/時 にて計算値は 8,400 lbs となり測定値より小となる. 單式バルン・タイヤに於ては (b) 圖に示す如く 80 哩/時 迄に於ける計算値と測定値との比を求めるに計算値は測定値の 0.93 倍となり, いづれの場合に於ても計算値と測定値との最大値を比較するに差異は極めて僅少である. 然るに圖に示す如く速度小なる場合測定値はいづれも計算値より著しく小である. その主なる原因として考へられるは次の二つである.

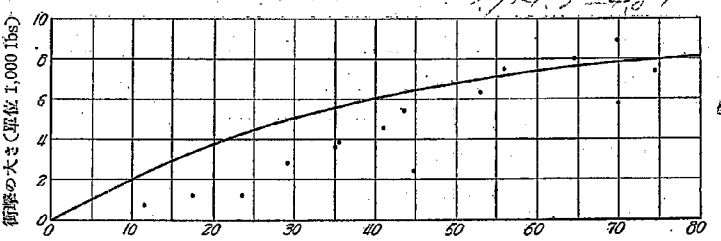
1) 自動車の速度が障碍物上を通過する際減少する
2) 車輪は或る面積にて路面と接觸するを以て車輪の下端が障碍物の始點に到着せざる以前に輪帶は障碍物と接觸し, 障碍物の幅が實際上長くなつたと同一の結果になる.

速度著しく大なる場合は t_1 (障碍物の頂點に達するに要する時間) の値小なるを以て, 第 16 圖, 第 17 圖に示す如く, 假令速度が減少するも衝撃の大さに及ぼす影響は小なれど, 速度小なる場合は之に反し t_1 の値大なるを以て速度の減少に伴ふ衝撃の大さの減少度は大となる. 20 哩/時 の速度にて 30″ を通過するに要する時間は 0.085 秒である. 今通過するに要する時間が 0.17 秒になりたるものとすれば P の計算値は複式バルン・タイヤに

a) 複式バルン・タイヤ



b) 單式バルン・タイヤ



第 19 圖

三角形の障碍物に於ける衝撃の大さの計算値と測定値との比較
實線　計算値　，　•　測定値
障碍物の高さ 1.5″，全靜荷重 8,000 lbs.

對し 2,280 lbs (測定値 1,260 lbs), 單式バルン・タイヤに對し 1,970 lbs (測定値 1,160 lbs) となり計算値と實測値とは近づいてくる. 而して本試驗に於ける自動車の速度は或る距離の平均値なるを以て障碍物の爲に自動車の速度がどの程度に減少するかを確め得ざるは遺憾である.

車輪に作用する荷重と輪帶の接觸面積との關係は第 5 表に示す如し.

第 5 表　荷重と輪帶の接觸面積との關係

(單位　平方吋)

荷重 (lbs)	8,000	16,000	24,000
複式バルン・タイヤ	192	282	354
單式バルン・タイヤ	92	162	211

今接觸面積を矩形とすれば 8,000 lbs の場合の面積の長さは複式バルン・タイヤに對し

8.8″, 單式バルン・タイヤに對し 7.2″ となり, 障碍物の長さは夫々 39″, 37″ に增加し結局速度が減少したと同一結果になる.

然し速度小なる範圍に於ける計算値と測定値とを一致せしむる爲には可成り大なる速度の減少を假定するにあらざれば不可能なるを以て測定値の小なる原因が上記の理由によるか否かは明でない. 第 19 圖に於て速度の小なる範圍を除いて計算値と測定値とは可成りよく一致する. 從つて三角形の障碍物による shock の値は最大値に關する限り上記の計算より求め得る事を知る.

2. 矩形の障碍物

第 15 圖に示す如く車輪は CA なる假想路面を通過するを以て車輪が A 點に達する迄に要する時間 t_1 を求むるには OC の距離を計算する必要がある. 車輪は變形するを以て A, C 兩點に於て或る面積を以て路面と接觸すれど本節に於ては車輪は全く變形せざるものとして OC の長さを求むるに, OC を x, 障碍物の高さを ε, 車輪の半徑を r とすれば

$$x=\sqrt{2r(2r-\varepsilon)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(37)$$

x, r, ε との關係を第 6 表に示す.

第 6 表 (37) 式の x の値 (單位 吋)

r (吋)	12	15	18	21
$\varepsilon=1.0$ 〃	4.80	5.38	6.08	6.40
$\varepsilon=1.5$ 〃	5.81	6.54	7.40	7.79

第 6 表の OC の値を用ひて第 16 圖, 第 17 圖より各速度に相當する衝撃の大さ ($P_{t=t_1}$) を求め第 20 圖に示す.

第 20 圖より比較的重要なる $v=40$ 哩/時 以上の速度に於ては衝撃の大さは車輪の半徑には殆んど無關係である. OC の長さは車輪の半徑に關係すれど, 本試驗に使用せしもの>半徑は不明なるも第 20 圖に示す如く車輪の半徑は衝撃の大さに餘り影響せざるを以て, (尠くとも P の大なる區域に於ては) 車輪の半徑を 18″ として計算した。此の場合の計算値と測定値を第 21 圖に示す.

第 21 圖のいづれの場合に於ても速度小なる範圍にありては測定値は計算値より小なるが速度の增加すると共に測定値は計算値より却つて大となる. 80 哩/時 の速度迄に於ける計算値と測定値との比を求むるに, いづれも測定値が大にして, 複式バルン・タイヤに於ては障碍物の高さ 1″ なる時 1.16, 1.5″ なる時 1.20, 單式バルン・タイヤに於ては1″ なる時 1.23, 1.5″ なる時 1.30 にして障碍物の高さ大なる程差異も大である. 計算値と測定値の差異の主なる原因は AC なる假想路面を用ひたる爲であると考へらるるが上記

の如くその差の最大値は 30% なるを以て衝撃の最大値に關する限り實用上計算値と測定値とは略一致すると云ひ得る.

速度小なる場合には測定値は計算値より著しく小である. その主なる原因は三角形の障碍物と同樣に

1. 自動車の速度の減少
2. 車輪と路面とが或る面積にて接觸する

によると考へられる. 而し此の場合の測定値は三角形の障碍物の場合と異なり, 障碍物の頂點に於ける値なるを以て第 16 圖, 第 17 圖に示す如く速度が或る値より小なる時は圖の點線の部分を使用しなければならぬ. 從つて何等かの原因により頂點に達するに要する時間が多少增加する時速度小なる場合には衝撃の値は著しく減少する. 障碍物の高さ 1.5″ なる時速度 10 哩/時 とすれば頂點に達する迄に 0.042 秒を要するが, 0.08 秒要するとすれば衝撃の値は複式バルン・タイヤに於て 6,800 lbs より 1,400 lbs に減少する. 然し此の場合も計算値と測定値とを一致せしめるには可成り大なる速度の減少を假定する必要がある.

第七節　drop の値の比較

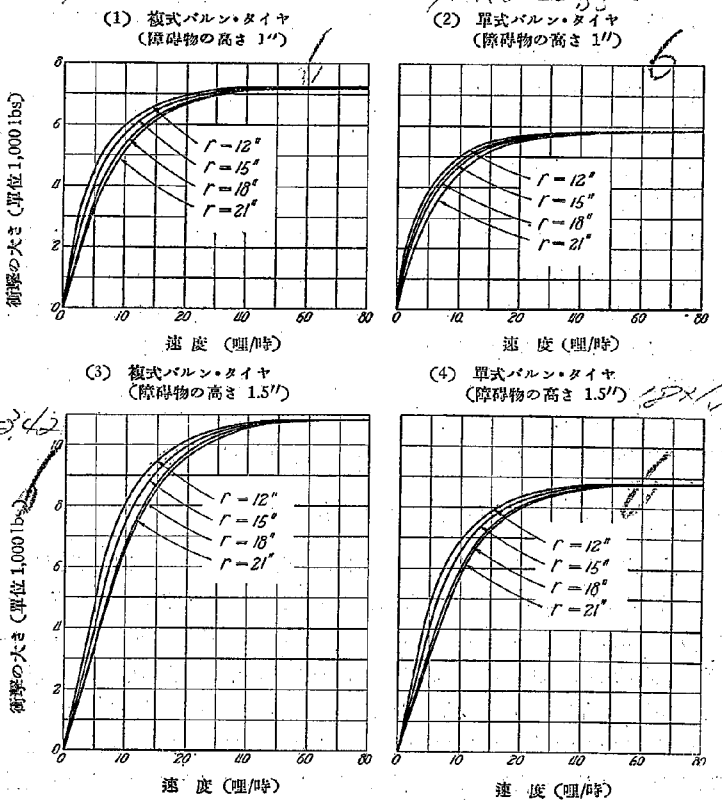
車輪が障碍物の末端に達し將に離れんとする時, 速度が大なる場合は車輪と路面との接觸面に相當する距離を走行するに要する時間は極めて小なるを以て車輪は直ちに障碍物を離れ重力の作用により路面上へ落下する. 若し車輪の變形量が障碍物の高さより大なる場合は車輪が變形以前の狀態に立ち戻るに要する時間は實際上無視し得る程度なるを以て車輪の下端は直ちに路面に接觸する. 之に反し速度小なる場合は車輪と路面との接觸面に相當する距離を走行するに要する時間大なるを以て車輪の一部分が障碍物を離れ再び路面上に落下したる後に於ても 尙他の部分は 障碍物上にある, 卽ち 車輪は 常に 路面と 接觸し shock と同樣にその下端が或る假想路面に沿ひて落下する場合に近い狀態となる. 實際には如何なる狀態にて車輪が路面上に落下するかは車輪の位置及變形量を實驗的に求むれば明となる譯であるが本衝撃試驗に於ては是等の値を求めざりしを以て實際の狀態を明にするを得ないのは遺憾である.

從つて本文に於ては假想的の次の二つの場合に就て計算することとする.

1. 車輪は障碍物の末端に達すると共に直ちに自由落下を開始する
2. shock の場合と同樣に假定されたる斜面に沿ひて落下する

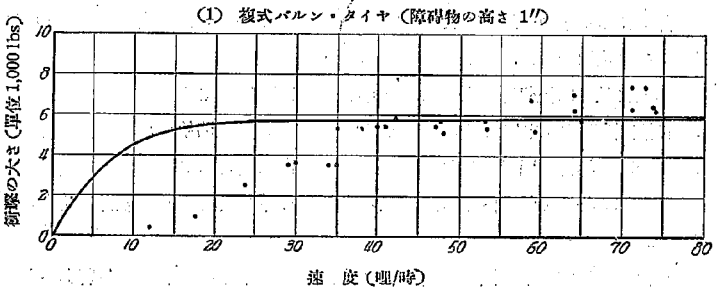
かかる假想的の場合に就て計算したるを以てその値が測定値と多少の誤差の生ずるは已むを得ない.

drop の値を求めるに當り車輪の彈性率及彈條の强さが 如何なる程度の影響あるかを調

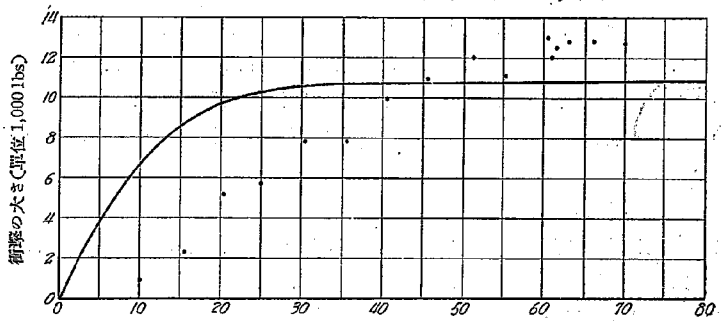


第 20 圖

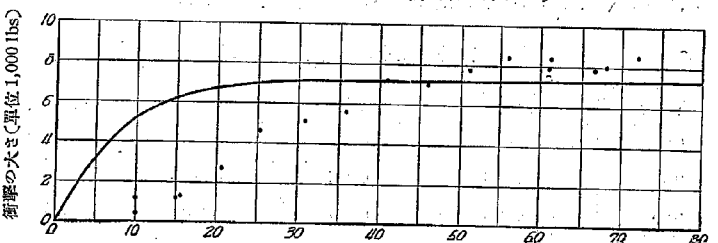
車輪の半徑と衝撃の大さとの關係　全靜荷重 8,000 lbs



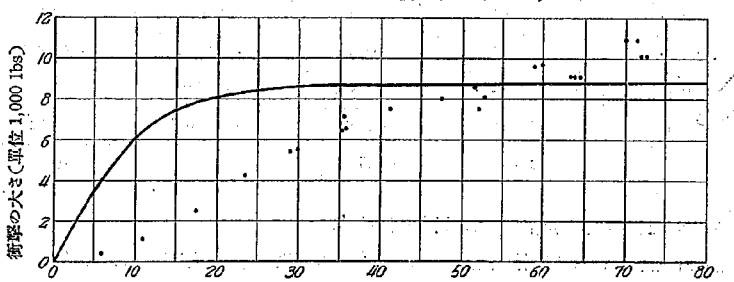
(2) 複式バルン・タイヤ (障碍物の高さ 1.5″)



(3) 單式バルン・タイヤ (障碍物の高さ 1″)



(4) 單式バルン・タイヤ (障碍物の高さ1.5″)



第 21 圖

矩形障碍物による衝撃の大さの計算値と實測値との比較

實線 計算値 • 測定値

全靜荷重 8,000 lbs.

べる必要あるが本節の計算は下に示す如く極めて複雑なる上に，shock の場合の計算の結果によれば c_1, c_2 の値の變化は餘り著しき影響なく，又影響が多少存在する場合にはその程度を大體推定し得ることを知つた．drop の場合はその衝撃を生ずる機構が shock の場合とは異なるが，c_1 及 c_2 に關する限り兩者間に大體共通の關係あるを以て c_1, c_2 の一つの値に就て計算を行つた．計算は複式バルン・タイヤに就てのみ行ひ $c_1=7{,}282$ lbs, $c_2=2{,}500$ lbs にとつた．

1. 三角形の障碍物

drop の値を求める計算法を複式バルン・タイヤが三角形の障碍物を乘り越す場合に就きて說明する．

(α) 自由落下の場合

三角形の頂點迄登るに要する時間を t_1 とすれば，車輪及車體の變位竝に變形速度は $(31)_1$, $(31)_2$ 式に於て $t=t_1$ として求めらる．それ等の値を第7表に示す．

第7表 車體及車輪の變形竝に變形速度

t_1 (秒)	y_1 (吋)	y_2 (吋)	$\frac{dy_1}{dt}$(吋/秒)	$\frac{dy_2}{dt}$(吋/秒)
0.01	−0.0383	0	−11.416	− 0.002
0.02	−0.1485	−0.0005	−21.664	− 0.012
0.04	−0.5918	−0.0071	−34.943	− 0.859
0.06	−0.9573	−0.0324	−35.873	− 2.500
0.08	−1.2721	−0.0813	−26.690	− 4.824
0.10	−1.3796	−0.1809	−14.060	− 7.267
0.20	−1.2311	−0.8748	−13.885	−11.324
0.30	−1.4345	−1.5362	− 5.316	−10.362
1.0	−1.5369	−1.6411	− 2.704	−1.912
∞	−1.5	−1.5	0	0

$t_1=\infty$ とは速度の非常に小なる場合を意味す．

然るに靜荷重による車輪の變形は 1.0986″ なるを以て y_1 の値が −1.0986″ より大なる時は車輪の變形量が 1.5″ 以上なるを以て車輪は障碍物を離るゝと共に直ちに路面に接觸する．然し $t_1>0.06$ 以上に於ては $y_1<-1{,}0986$ なるを以て車輪は自由に落下する．車輪が再び路面に接觸する迄に要する時間 t は (15) 式に於て $d_1=-1.0986$, d_2, v_1, v_2 に對し夫々第7表の y_2, $\frac{dy_1}{dt}$ 及 $\frac{dy_2}{dt}$ の値を用ひ試算法により求むれば第8表に示す如し．

第8表　車輪が自由落下する時間

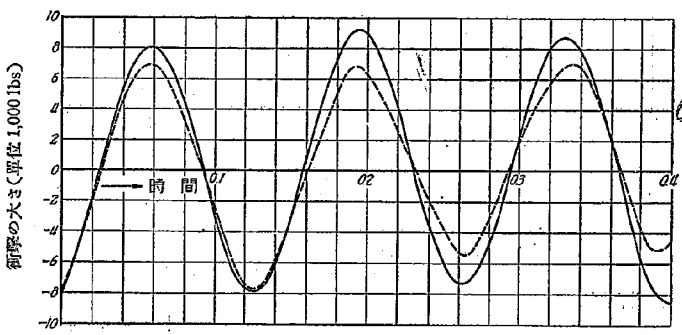
t_1（秒）	0.06 *	0.08	0.1	0.3	1.0	∞
t（秒）	0.0611	0.0539	0.0416	0.0694	0.0586	0.0456

$t_1=0.06$ 秒に於ては第7表より y_1 の値は $-1.0986''$ より大なるを以て車輪は障碍物を離るゝと共に直に路面に接觸し $t=0$ なるが，上方への變形速度大なる爲に再び路面を離るゝを以て障碍物を離るゝと共に直ちに路面に接觸せざるものとして t の値を求めた．

第8表の t の値より (14) 式を用ひ車輪が再び路面に接觸したる瞬間に於ける y_2 $\frac{dy_1}{dt}$, $\frac{dy_2}{dt}$ の値を求め得るを以て (17) 式により接觸後に於ける衝撃の強さ P が求めらる。又 y_1 の値が $-1.0986''$ より大なる時は障碍物の頂點に於ける y_1, y_2, $\frac{dy_1}{dt}$, $\frac{dy_2}{dt}$ を用ひて同樣に (17) 式より P の値が求めらる．而して (17) 式に示す如く P の最大なる點は無數に多くの個所に存在する．然し實際は自動車の各部分に作用する各種の摩擦力の爲に車臺及車輪の振動は時と共に減少し衝撃の大さ P も亦時と共に減少する．此の減少の程度を知らんが爲に附錄 V に於て車輪に作用する內部摩擦力の影響を計算し第 22 圖に示す．その結果によれば P の値は大體第一回目の最大値を以て全體の最大値と考へらるゝを以て本文に於ては最初の最大値を衝撃の大さとし第 23 圖に點線（車輪の變形量 $1.5''$ より小），破線（變形量 $1.5''$ より大）を以て示した．

(b)　斜面に沿ひて落下する場合

前節に示す如く斜面の幅（x の値）は車輪の半徑，障碍物の高さ等に關係するが本文に於ては計算を簡單にする爲に總ての場合を通じ $x=6''$ とした．衝撃の大さ P は (23) 式



第 22 圖
內部摩擦力による衝撃の大さの減少
實線　內部摩擦力の存在しない場合
點線　$\xi_1=2.79$, $\xi_2=0$ なる內部摩擦力の存在する場合

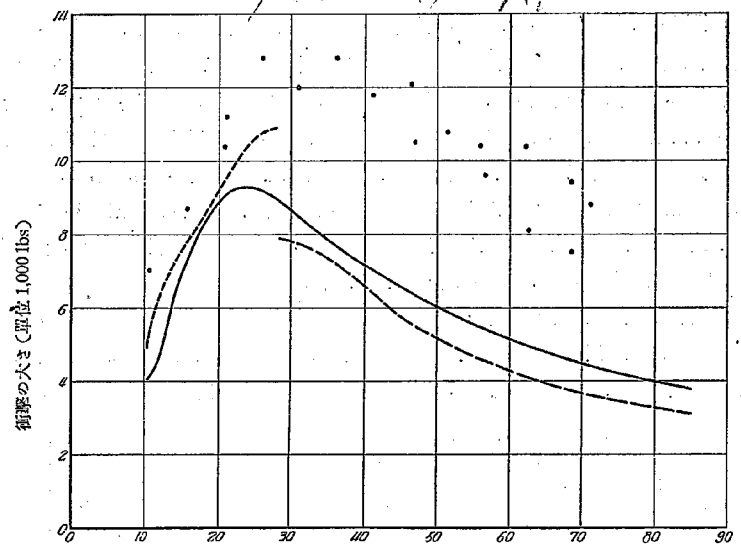
の第 4 式より

$$P=169.35\left\{\frac{\sin 46.07\,t-6\sin 46.07(t-t_1)+5\sin^2 46.07(t-\tfrac{2}{3}t_1)}{t_1}\right\}$$
$$+293.32\left\{\frac{\sin 10.68\,t-6\sin 10.68(t-t_1)+5\sin 10.68(t-\tfrac{2}{3}t_1)}{t_1}\right\}\quad\cdots\cdots(38)$$

但し t_1 は障碍物の頂點に達するに要する時間

(38) 式は $t>\frac{2}{3}t_1$ なる場合のみに適用出來る. (38) 式の P の値を第 23 圖の實線にて示す.

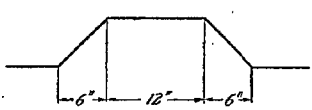
單式バルン・タイヤも全く同樣に求め得られ, 唯此の場合 $d_1=-1.3582''$ として計算するを要す.



第 23 圖
三角形の障碍物による drop の値 (高さ 1.5″)
複式バルン・タイヤ
——— 假想斜面に沿ひて落下する場合
····· 障碍物より自由落下する場合
– – – 障碍物を離れると共に直ちに路面に接觸する場合

2. 矩形障碍物

矩形障碍物による drop の値も三角形の場合と同樣に上記の二つの假想的の場合に就て行ふ. 車輪が落下する假想斜面の水平距離を第 24



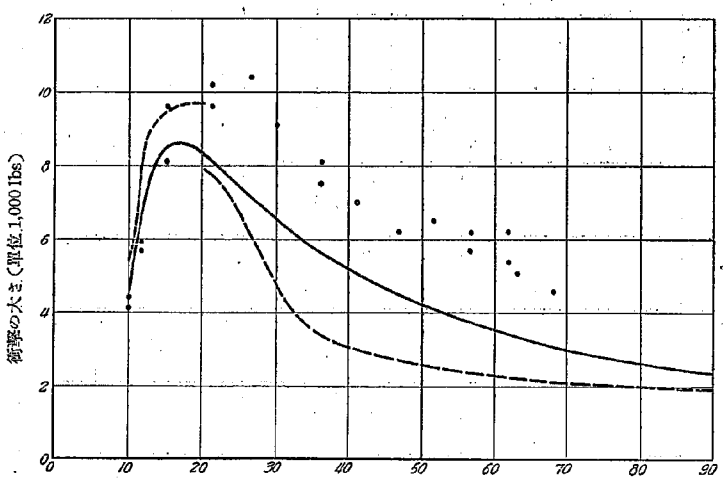
第 24 圖

圖に示す如く總ての場合を通じて 6″ とし，複式バルン・タイヤのみに就て計算を行つた．障碍物の高さ 1″ の場合を第 25 圖に．1.5″ の場合を第 26 圖に示す．

第 23 圖，第 25 圖，第 26 圖に於て計算値と測定値とを比較するに衝撃の最大値はいづれの場合も計算値の方が速度小なる時に生じ，速度小なる場合は計算値と測定値とは比較的よく一致するが，速度大なる場合兩者の差異は著しくなる，然し衝撃の大さの速度の變化による大體の傾向は兩者よく一致してゐる．今計算値と測定値との最大値の比を求めるにいづれの場合も測定値の方大にして，その値は三角形の障害物に對しては 0.85，矩形障碍物に對しては 0.93 にして差異は三角形の障碍物の方大である．最大値のみでなく一般に三角形の障碍物の方が矩形障碍物に比して計算値と測定値との差異著しい．衝撃の最大値を與へる速度より大なる速度に於て測定値が計算値より著しく大なる原因は主として次の二つによると考へらる．

1. shock の場合と同様に障碍物を登り上る際の速度の減少
2. 障碍物の頂點に達したる後に於ける速度の增加

障碍物を登り上る場合の速度が見掛の速度（或る距離の平均の速度）より小なりとすれ



第 25 圖

矩形障碍物の drop の値（高さ 1″）

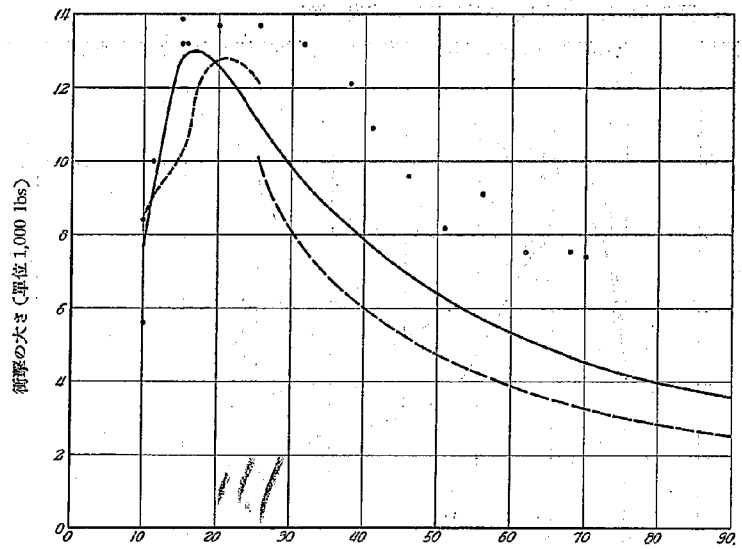
複式バルン・タイヤ

——— 假想斜面に沿ひて落下する場合

····· 障碍物より自由落下する場合

-·-·-·- 障碍物を離れると共に直ちに路面に接觸する場合

ば，圓面上に於ける速度は見掛の速度なるを以て測定値は總て速度小なる方向卽ち計算値の大なる方に移動する故に兩者の差異は減少する．而して三角形の障碍物に於ては頂點に達すると共に直ちに落下し始むるが，矩形障碍物に於ては障碍物上に達してより 12″ の水平距離を走行する．然るに障碍物に妨げられざる他の車輪は一樣なる速度にて走行せんと努むるを以て障碍物上に達する時，車輪の實際の速度は增加すると考へらる．從つて矩形障碍物に於ける速度の減少は水平距離を走行する際の速度の增加の爲に補はれ，餘り著しき影響はなく測定値と計算値とが比較的一致するは當然の事と考へらる．又速度大なる區域に於ては自由落下なる假定の下に求めた衝擊の大さは斜面に沿ひて落下すると考へた場合に比較して小である．而して自由落下の場合の衝擊の大さは障碍物の末端に於ける條件のみに支配さる．之に反し斜面に沿ひて落下する場合は末端の條件と斜面に沿ひて走行する速度により著しく異なる．今三角形の障碍物に就て考ふるに登り上る速度は小なるを以て頂點に於ける衝擊の大さは小なるも，斜面を落下する速度大なるを以て路面に再び接觸



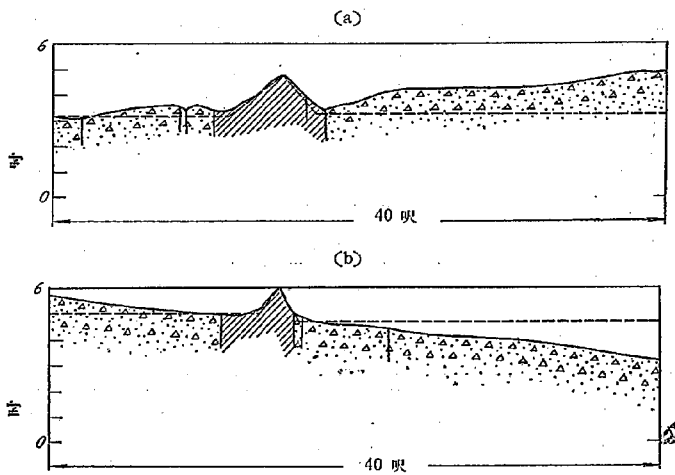
第 26 圖
矩形障碍物の drop の値（高さ 1.5″）
複式バルン・タイヤ
——— 假想斜面に沿ひて落下する場合
…… 障碍物より自由落下する場合
---- 障碍物を離れると共に直ちに路面は接觸する場合

したる後に於ける衝撃の値は大となつて來る譯である．而してその增加する割合は當然矩形のものより三角形の方が大となる．且つ最大の衝撃値を與ふる位置も速度大なる方向に移動し，計算値と測定値とは是等の補正を行へば尙よく一致する．速度小なる範圍に於ては一般に自由落下の方大なる値を與へ，實際の速度が見掛の速度より小なりとすれば，三角形の障碍物と矩形障碍物の高さ 1.5″ のものに於ては測定値と計算値との差異は增加すれど，矩形障碍物の高さ 1.0″ のものに於ては却つて兩者は一致し，且つ速度の減少の割合が全體を通じて一樣なりとするならば速度大なる方が變化の割合大なるを以てそれにより生ずる衝撃の變化も亦大である．從つて上記二原因は決して速度小なる範圍に於ける計算値と測定値との間の關係と何等矛盾しない．

要するに本試驗に於て drop の値の計算値と測定値とを比較した結果によれば速度の增加及減少による補正を行へば兩者は大體一致する．然し本試驗に於て如何なる程度の速度の變化が生ずるかを明にせざるは遺憾である．

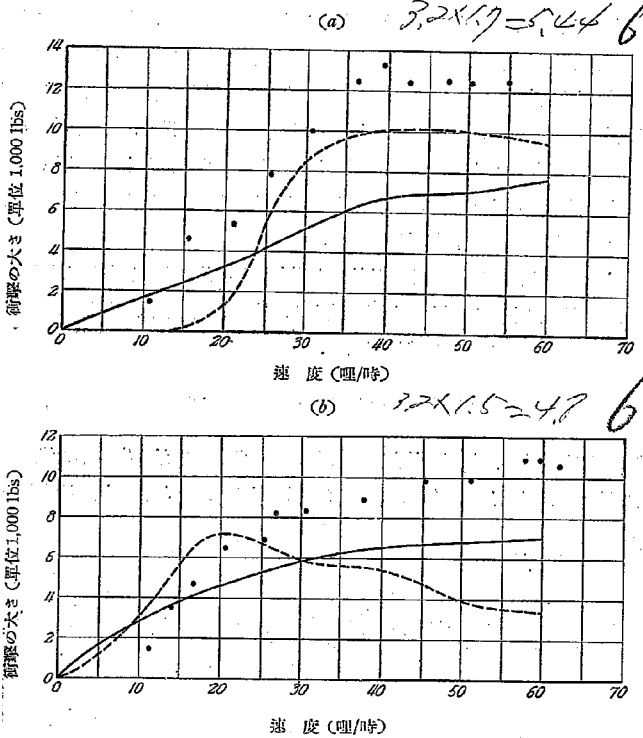
第八節　自然路面に於ける比較

自然路面の凹凸の形狀は極めて複雜にして簡單なる曲線にて示す事は不可能である．本節に於ては路面の形狀の比較的簡單なる第 27 圖に示す二つの場合に就て測定値と計算値



第 27 圖
自然路面の凹凸の形狀
——— 路面の形狀
------ 計算に用ひた假想路面

どを比較する．圖に示す如く表面の形狀は簡單なる曲線にて示し得ざるも，上記の假定による計算方法が實際上如何なる程度に適用され得るかを知るのが本文の目的なるを以て，



第 28 圖
自然路面の衝撃の大さの計算値と測定値の比較
——— shock の値
- - - - drop の値
• 測定値

假りに圖の點線にて示せる如き形狀を有する路面として計算を行つた．從つて比較的規則正しき人工の障碍物の場合に比し，計算値と實測値との差異の大となるは止むを得ない．又自然路面に於ては他に多くの小なる凹凸存在しそれ等による影響も考慮する必要あるを以て一般的には一個の障碍物による場合に比して衝撃の大さが大となる傾向がある．

本節に於ては車輪と路面とは常に接觸するものとして第 (23) 式，(28) 式より衝撃の値を求め (a) の場合に對し第 28 圖 (a) に，(b) の場合に對し第 28 圖 (b) に示した．車輪と路

面とが常に接觸するか否かを知るには y_1 を求める必要があれど，その算式は（31）式に示す如く極めて複雜にしてその値を求めるは甚だ煩雜なるを以て求めざりしが，本節の如く路面の形狀が連續的に變化し且つ衝撃の大さが靜荷重より餘り大ならざる場合には車輪が路面より跳り上る恐れは尠ない．

圖に於て實線は shock の値，破線は drop の値を示す．今衝撃の最大値を比較するに測定値と計算値の最大値の比は(a)に於ては 1.30,(b)に於ては 1.54 となり，人工の障碍物の場合に比し兩者の差異は多少大なれど上述の理由により止むを得ない．然し衝撃の大さの速度に對する變化の傾向を見るに大體一致し，特に (a)の場合には可成りよく一致してゐる．

第九節　結　言

米國道路局の衝撃試驗と比較した結果によれば本文の計算方法により求めた衝撃の大さは可成りよく測定値と一致してゐることは前節に述べた如くである．本文の計算は自動車を二つの自由度を有する振動系と假定し，車輪が假想の路面を走行するものとして行つた．又計算に使用したる輪帶及彈條の强さ，彈上及彈下荷重の重量等の値が實際のものと多少は異なつてゐる筈である．且つ shock 及 drop の値を比較する場合に詳細に述べたる如く障碍物に登り上る場合の速度の減少，障碍物の頂點へ到着後の速度の增加なる二つの現象を假定するにあらざればすべての區域に亘りて計算値と測定値とを實用上許され得る程度に一致せしむる事は不可能であつた．從つて本文の計算方法の諸假定が正當なりと斷定するは不可能であるが輪帶及彈條の强さ，彈上及彈下荷重の實際の値との差異は衝撃の大さに餘り大なる影響を及ぼす程度には達してゐない．又速度の增加及減少も實驗的に確められた事實ならざれども，實際上かかる事實の發生が可能なる事は何人も想像し得る事項である．且又 shock 及 drop の値を比較する時いづれの場合に就ても少しの矛盾する點がない．從つて測定値と計算値と一致することは取りも直さず上記の計算の妥當性を示す事になると考へられる．

本文に於て比較した範圍内に於ては計算値は測定値と比較して數量的には多少の差異あれど定性的には殆んど一致してゐる．その數量的の差異も最も重要なる最大値に於て30%以内なるを以て，此の種の試驗に於ては種々なる原因により尠くとも 10% 内外の實驗上の誤差が起り勝なることを考ふれば，實用上は許容し得る程度の差異である．

米國道路局の衝撃試驗と比較したる結果によれば緒言に述べたる各因子の衝撃の大さに及ぼす影響の多少，又は既知の障碍物による衝撃の最大値を推定するには本文の計算方法にて充分目的を達し得ることを知る．

衝撃の大さに及ぼす各因子の影響は別に稿を改めて研究する必要あるが，就中最も大な

る影響があると考へらるる車輪及路面の强さ卽ち c_1 の値を見るに衝撃の大さは大體に於て c_1 に比例する，卽ち車輪及路面が變形し易き場合は衝撃の値小であるが，ソリッドタイヤの如く變形し難い輪帶を用ひ，又はコンクリート鋪裝路面上に於ては著しく大なる衝撃が生ずる．

附　　錄

附　錄　I

$$\left.\begin{aligned}&\frac{d^2y_1}{dt^2}+(k_1^2+\gamma k_2^2)y_1-\gamma k_2^2y_2=\frac{2k_1^2}{\pi}\int_0^\infty F(\alpha)\sin\alpha vt\,d\alpha\\&\frac{d^2y_2}{dt^2}+k_2^2y_2-k_2^2y_1=0\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

(1) 式の particular solution を求める爲に y_1, y_2 を次の如く置く.

$$y_1=\int_0^\infty F_1(\alpha)\sin\alpha vt\,d\alpha,\quad y_2=\int_0^\infty F_2(\alpha)\sin\alpha vt\,d\alpha\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

(1) 式を (2) 式に代入し整理すれば $F_1(\alpha)$, $F_2(\alpha)$ と $F(\alpha)$ との間に次の關係式が成り立つ.

$$\{(\alpha v)^2-k_1^2-\gamma k_2^2\}F_1(\alpha)-\gamma k_2^2F_2(\alpha)=-\frac{2k_1^2}{\pi}F(\alpha)$$

$$k_2^2F_1(\alpha)+\{(\alpha v)^2-k_2^2\}F_2(\alpha)=0$$

上記の聯立方程式より $F_1(\alpha)$, $F_2(\alpha)$ を求むれば

$$F_1(\alpha)=\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2\{k_2^2-(\alpha v)^2\}}{(\alpha v)^4-(k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2)(\alpha v)^2+k_1^2k_2^2}F(\alpha)$$

$$F_2(\alpha)=\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2k_2^2}{(\alpha v)^4-(k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2)(\alpha v)^2+k_1^2k_2^2}F(\alpha)$$

上式の分母を因數に分解し

$$F_1(\alpha)=\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2\{k_2^2-(\alpha v)^2\}}{\{(\alpha v)^2-\beta_1^2\}\{(\alpha v)^2-\beta_2^2\}}F(\alpha)$$

$$F_2(\alpha)=\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2k_2^2}{\{(\alpha v)^2-\beta_1^2\}\{(\alpha v)^2-\beta_2^2\}}F(\alpha)$$

但し

$$\left.\begin{aligned}\beta_1^2&=\frac{1}{2}\{k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2+\sqrt{(k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2)^2-4k_1^2k_2^2}\}\\\beta_2^2&=\frac{1}{2}\{k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2-\sqrt{(k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2)^2-4k_1^2k_2^2}\}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

$F_1(\alpha)$, $F_2(\alpha)$ の値を (2) 式に代入すれば y_1, y_2 の particular solution は次の如し.

$$\left.\begin{aligned}y_1&=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty\frac{k_1^2\{k_2^2-(\alpha v)^2\}F(\alpha)}{\{(\alpha v)^2-\beta_1^2\}\{(\alpha v)^2-\beta_2^2\}}\sin\alpha vt\,d\alpha\\y_2&=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty\frac{k_1^2k_2^2F(\alpha)}{\{(\alpha v)^2-\beta_1^2\}\{(\alpha v)^2-\beta_2^2\}}\sin\alpha vt\,d\alpha\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

更に y_1, y_2 の一般解 (general solution) を求める爲に (1) 式の左邊を零と置き (5) 式を得る.

$$\left.\begin{aligned}&\frac{d^2y_1}{dt^2}+(k_1^2+\gamma k_2^2)y_1-\gamma k_2^2y_2=0\\&\frac{d^2y_2}{dt^2}+k_2^2y_2-k_2^2y_1=0\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(5)$$

上式より y_2 を消去すれば, y_1 の滿足すべき微分方程式は次の如し.

$$\frac{d^4y_1}{dt^4}+(k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2)\frac{d^2y_1}{dt^2}+k_1^2k_2^2y_1=0\cdots\cdots(6)$$

(6) 式は係數常數なる高次微分方程式なるを以て

$$y_1=e^{i\lambda t}\qquad(i=\sqrt{-1})\cdots\cdots(7)$$

と置き容易に求め得る. (7) 式を (6) 式に代入し

$$\lambda^4-(k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2)\lambda^2+k_1^2k_2^2=0\cdots\cdots(8)$$

(8) 式の根を求むれば

$$\lambda=\pm\beta_1,\ \pm\beta_2$$

但し β_1, β_2 は (3) 式の値に等し, 從つて y_1 の解は

$$y_1=A_1\sin\beta_1t+A_2\cos\beta_1t+A_3\sin\beta_2t+A_4\cos\beta_2t\cdots\cdots(9)_1$$

y_1 の値を (5) 式の最初の式に代入し, y_2 の解は

$$y_2=\frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_1^2}(A_1\sin\beta_1t+A_2\cos\beta_1t)+\frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_2^2}(A_3\sin\beta_2t+A_4\cos\beta_2t)\cdots(9)_2$$

從つて (4) 式と (9) 式より (1)式を滿足する y_1, y_2 の一般解は (10) 式に示す如し.

$$\begin{aligned}y_1=&\frac{2}{\pi}\int_0^\infty\frac{k_1^2\{k_2^2-(\alpha v)^2\}F(\alpha)}{\{(\alpha v)^2-\beta_1^2\}\{(\alpha v)^2-\beta_2^2\}}\sin\alpha vt\,d\alpha\\&+A_1\sin\beta_1t+A_2\cos\beta_1t+A_3\sin\beta_2t+A_4\cos\beta_2t\\y_2=&\frac{2}{\pi}\int_0^\infty\frac{k_1^2k_2^2\,F(\alpha)}{\{(\alpha v)^2-\beta_1^2\}\{(\alpha v)^2-\beta_2^2\}}\sin\alpha vt\,d\alpha\\&+\frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_1^2}(A_1\sin\beta_1t+A_2\cos\beta_1t)+\frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_2^2}(A_3\sin\beta_2t+A_4\cos\beta_2t)\end{aligned}\cdots\cdots(10)$$

然るに本文の (2) 式より

$$P=c_1(y_1-y_0)$$

なるを以て (10) 式の y_1 の値を代入し，P の値は

$$P=-\frac{2c_1}{\pi}\int_0^\infty F(a)\sin avtda$$

$$+\frac{2c_1k_1^2}{\pi}\int_0^\infty\frac{\{k_2^2-(av)^2\}F(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}\{(av)^2-\beta_2^2\}}\sin avtda$$

$$+c_1A_1\sin\beta_1t+c_1A_2\cos\beta_1t+c_1A_3\sin\beta_2t+c_1A_4\cos\beta_2t \quad\cdots\cdots(11)$$

$\frac{dy_1}{dt}$, $\frac{dy_2}{dt}$ は (10) 式の y_1, y_2 より次の如く求まる．

$$\frac{dy_1}{dt}=\frac{2k_1^2}{\pi}\int_0^\infty\frac{av\{k_2^2-(av)^2\}F(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}\{(av)^2-\beta_2^2\}}\cos avtda$$

$$+A_1\beta_1\cos\beta_1t-A_2\beta_1\sin\beta_1t+A_3\beta_2\cos\beta_2t-A_4\beta_2\sin\beta_2t$$

$$\frac{dy_2}{dt}=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty\frac{k_1^2k_2^2av\,F(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}\{(av)^2-\beta_2^2\}}\cos avtda$$

$$+\frac{\beta_1k_2^2}{k_2^2-\beta_1^2}(A_1\cos\beta_1t-A_2\sin\beta_1t)+\frac{\beta_2k_2^2}{k_2^2-\beta_2^2}(A_3\cos\beta_2t-A_4\sin\beta_2t)$$

$$\cdots\cdots(12)$$

(10) 式の A_1, A_2, A_3 及 A_4 は initial condition より定めらるる常数にて自動車の出發する瞬間に於ける y_1, y_2 及 $\frac{dy_1}{dt}$, $\frac{dy_2}{dt}$ の値を Y_1, Y_2, V_1 及 V_2 とすれば A_1, A_2, A_3 及 A_4 は是等の函數として示さる．

一般の場合の initial condition は次の如く示され

$$\left.\begin{aligned}&y_1=Y_1, \qquad y_2=Y_2\\&\frac{dy_1}{dt}=V_1, \qquad \frac{dy_2}{dt}=V_2\end{aligned}\right\}\quad at\quad t=0 \quad\cdots\cdots(13)$$

(10) 及 (12) 式を (13) 式に代入し

$$A_2+A_4=Y_1, \qquad \frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_1^2}A_2+\frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_2^2}A_4=Y_2$$

$$A_1\beta_1+A_3\beta_2=-\frac{2k_1^2}{\pi}\int_0^\infty\frac{av\{k_2^2-(av)^2\}F(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}\{(av)^2-\beta_2^2\}}da+V_1$$

$$\frac{\beta_1k_2^2}{k_2^2-\beta_1^2}A_1+\frac{\beta_2k_2^2}{k_2^2-\beta_2^2}A_3=-\frac{2k_1^2k_2^2}{\pi}\int_0^\infty\frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}\{(av)^2-\beta_2^2\}}da+V_2$$

是等の聯立方程式より A_1, A_2, A_3 及 A_4 の値を求むれば次の如し．

$$A_1=\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\beta_1 k_2^2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\{V_1k_2^2-V_2(k_2^2-\beta_2^2)\}+\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2(\beta_1^2-k_2^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\int_0^\infty\frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}}da$$

$$A_2=\frac{\beta_1^2-k_2^2}{k_2^2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\{k_2^2Y_1-(k_2^2-\beta_2^2)Y_2\}$$

$$A_3=\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_2 k_2^2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\{V_1k_2^2-V_2(k_2^2-\beta_1^2)\}+\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2(k_2^2-\beta_2^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\int_0^\infty\frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_2^2\}}da$$

$$A_4=\frac{k_2^2-\beta_2^2}{k_2^2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\{k_2^2Y_1-(k_2^2-\beta_1^2)Y_2\}\cdots\cdots(14)$$

附 錄 II

$$\frac{d^2y_1}{dt^2}+\gamma k_2^2y_1-\gamma k_2^2y_2=g\cdots\cdots(1)$$

$$\frac{d^2y_2}{dt^2}-k_1^2y_1+k_2^2y_2=g\cdots\cdots(2)$$

(1) 式と (2) 式より

$$\frac{d^2}{dt^2}(y_1+\gamma y_2)=(1+\gamma)g$$

從つて上式の兩邊を t に就て 2 度積分し,

$$y_1+\gamma y_2=\frac{1+\gamma}{2}gt^2+at+b\cdots\cdots(3)$$

但し a, b は常數を示す,

(3) 式と (2) 式とより y_1 を消去すれば, y_2 の滿足すべき微分方程式

$$\frac{d^2y_2}{dt^2}(1+\gamma)k_2^2y_2=\frac{k_2^2}{2}(1+\gamma)gt^2+ak_2^2t+bk_2^2+g\cdots\cdots(4)$$

(4) 式より paticular solution を求むる爲に

$$y_2=A_3t^2+A_4t+A_5$$

と置き (4) 式に代入し A_3, A_4, A_5 を求むれば次の如し.

$$A_3=\frac{g}{2},\quad A_4=\frac{a}{1+\gamma},\quad A_5=\frac{b}{1+\gamma}\cdots\cdots(5)$$

從つて微分方程式の y_2 の一般解は

$$y_2=A_1\sin k_2\sqrt{1+\gamma}t+A_2\cos k_2\sqrt{1+\gamma}t+\frac{g}{2}t^2+\frac{a}{1+\gamma}t+\frac{b}{1+\gamma}$$

y_2 の値を (3) 式に代入し

$$y_1=-A_1\gamma\sin k_2\sqrt{1+\gamma}t-A_2\gamma\cos k_2\sqrt{1+\gamma}t+\frac{g}{2}t^2+\frac{a}{1+\gamma}t+\frac{b}{1+\gamma}$$

今 a, b の代りに常數 A_3, A_4 を用ふれば y_1, y_2, $\frac{dy_1}{dt}$ 及 $\frac{dy_2}{dt}$ は夫々 (6) 式に示す如し.

$$\left.\begin{aligned}
y_1&=-A_1\gamma\sin k_2\sqrt{1+\gamma}t-A_2\gamma\cos k_2\sqrt{1+\gamma}t+\frac{1}{2}gt^2+\frac{A_3}{1+\gamma}t+\frac{A_4}{1+\gamma}\\
y_2&=A_1\sin k_2\sqrt{1+\gamma}t+A_2\cos k_2\sqrt{1+\gamma}t+\frac{1}{2}gt^2+\frac{A_3}{1+\gamma}t+\frac{A_4}{1+\gamma}\\
\frac{dy_1}{dt}&=-\gamma k_2\sqrt{1+\gamma}(A_1\cos k_2\sqrt{1+\gamma}t-A_2\sin k_2\sqrt{1+\gamma}t)+\frac{A_3}{1+\gamma}+gt\\
\frac{dy_2}{dt}&=k_2\sqrt{1+\gamma}(A_1\cos k_2\sqrt{1+\gamma}t-A_2\sin k_2\sqrt{1+\gamma}t)+\frac{A_3}{1+\gamma}+gt
\end{aligned}\right\}\cdots(6)$$

initial conditon,

$$\left.\begin{aligned}
&y_1=d_1,\quad y_2=d_2\\
&\frac{dy_1}{dt}=v_1,\quad \frac{dy_2}{dt}=v_2
\end{aligned}\right\}\quad at\quad t=0\qquad\cdots(7)$$

(6) 式を (7) 式に代入して整理すれば

$$\left.\begin{aligned}
&-A_2\gamma+\frac{1}{1+\gamma}A_4=d_1,\quad A_2+\frac{1}{1+\gamma}A_4=d_2\\
&-\gamma\sqrt{1+\gamma}k_2A_1+\frac{1}{1+\gamma}A_3=v_1,\qquad \sqrt{1+\gamma}k_2A_1+\frac{1}{1+\gamma}A_3=v_2
\end{aligned}\right\}\cdots(8)$$

(8) 式より A_1, A_2, A_3 及 A_4 を求むれば

$$A_1=-\frac{v_1-v_2}{(1+\gamma)\sqrt{1+\gamma}k_2},\qquad A_2=-\frac{d_1-d_2}{1+\gamma}$$

$$A_3=v_1+\gamma v_2,\qquad A_4=d_1+\gamma d_2$$

是等の値を (6) 式に代入すれば y_1, y_2, $\frac{dy_1}{dt}$ 及 $\frac{dy_2}{dt}$ は次の如く示さる.

$$y_1=\frac{1}{\gamma+1}\left\{\frac{\gamma(v_1-v_2)}{k_2\sqrt{1+\gamma}}\sin k_2\sqrt{1+\gamma}t+\gamma(d_1-d_2)\cos k_2\sqrt{1+\gamma}t+(\gamma v_2+v_1)t\right.$$
$$\left.+(d_1+\gamma d_2)+\frac{1}{2}(\gamma+1)gt^2\right\}$$

$$y_2=\frac{1}{\gamma+1}\left\{-\frac{v_1-v_2}{k_2\sqrt{1+\gamma}}\sin k_2\sqrt{1+\gamma}t-(d_1-d_2)\cos k_2\sqrt{1+\gamma}t+(v_1+\gamma v_2)t\right.$$

$$+(d_1+\gamma d_2)+\frac{1}{2}(\gamma+1)gt^2\Big\}$$

$$\frac{dy_1}{dt}=\frac{\gamma}{\gamma+1}(v_1-v_2)\cos k_2\sqrt{1+\gamma}t-\frac{\gamma\sqrt{1+\gamma}k_2}{\gamma+1}(d_1-d_2)\sin k_2\sqrt{1+\gamma}t$$

$$+\frac{\gamma v_2+v_1}{\gamma+1}+gt$$

$$\frac{dy_2}{dt}=-\frac{v_1-v_2}{\gamma+1}\cos k_2\sqrt{1+\gamma}t+\frac{\sqrt{1+\gamma}k_2}{1+\gamma}(d_1-d_2)\sin k_2\sqrt{1+\gamma}t$$

$$+\frac{v_1+\gamma v_2}{1+\gamma}+gt \qquad (9)$$

附 錄 III

附錄 III に於ては第3節, 第4節 に與へらるる積分値を求め P, y_1, y_2 を計算する.

本附錄に必要なる積分値を列記すれば次の如し.

$$f_1(a,b)=\int_0^\infty \frac{\sin a\eta\cos b\eta}{\eta}d\eta=0 \qquad a<b$$

$$=\frac{\pi}{2} \qquad a>b$$

$$f_2(a,b;x)=\int_0^\infty \frac{\sin a\eta-\sin b\eta}{\eta^2}\sin x\eta d\eta$$

$$=0 \qquad x<b<a$$

$$=\frac{\pi}{2}(x-b) \qquad b<x<a$$

$$=\frac{\pi}{2}(x-a) \qquad b<a<x$$

$$f_3(a,\beta)=\int_0^\infty \frac{\eta}{\eta^2-\beta^2}\sin a\eta d\eta=\frac{\pi}{2}\cos\beta a$$

$$f_4(a,\beta)=\int_0^\infty \frac{1}{\eta^2-\beta^2}\cos a\eta d\eta=-\frac{\pi}{2}\frac{\sin\beta a}{\beta}$$

(1)

但し $a>0$, $b>0$, $x>0$, $\beta>0$ とす.

1. 障碍物が矩形の場合

本文の (19) 式に $av=\eta$ と置けば,

$$P=\frac{2c_1}{\pi}\varepsilon\int_0^\infty \frac{\cos l_0\eta-\cos l_1\eta}{\eta}\sin t\eta\ d\eta$$

$$-\frac{2c_1\varepsilon}{\pi}k_1^2\int_0^\infty \frac{(k_2^2-\eta^2)(\cos l_0\eta-\cos l_1\eta)}{\eta(\eta^2-\beta_1^2)(\eta^2-\beta_2^2)}\sin t\eta\ d\eta$$

$$-\frac{2c_1\varepsilon}{\pi}\frac{k_1^2(\beta_1^2-k_2^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_1 t\int_0^\infty\frac{\cos t_0\eta-\cos t_1\eta}{\eta^2-\beta_1^2}d\eta$$

$$-\frac{2c_1\varepsilon}{\pi}\frac{k_1^2(k_2^2-\beta_2^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_2 t\int_0^\infty\frac{\cos t_0\eta-\cos t_1\eta}{\eta^2-\beta_2^2}d\eta$$

又は

$$P=\frac{2c_1\varepsilon}{\pi}(\mathrm{I}_1-\mathrm{I}_2-\mathrm{I}_3-\mathrm{I}_4)$$

但し

$$\left.\begin{aligned}
\mathrm{I}_1&=\int_0^\infty\frac{\cos t_0\eta-\cos t_1\eta}{\eta}\sin t\eta\ d\eta\\
\mathrm{I}_2&=\int_0^\infty\frac{k_1^2(k_2^2-\eta^2)}{\eta(\eta^2-\beta_1^2)(\eta^2-\beta_2^2)}(\cos t_0\eta-\cos t_1\eta)\sin t\eta\ d\eta\\
\mathrm{I}_3&=\int_0^\infty\frac{\cos t_0\eta-\cos t_1\eta}{\eta^2-\beta_1^2}d\eta,\quad \mathrm{I}_4=\int_0^\infty\frac{\cos t_0\eta-\cos t_1\eta}{\eta^2-\beta_2^2}d\eta
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(2)$$

然るに

$$\frac{k_1^2(k_2^2-\eta^2)}{\eta(\eta^2-\beta_1^2)(\eta^2-\beta_2^2)}=\frac{1}{\eta}+\frac{\beta_2^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\eta}{\eta^2-\beta_1^2}-\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\eta}{\eta^2-\beta_2^2}$$

$$(\cos t_0\eta-\cos t_1\eta)\sin t\eta=\frac{1}{2}\Big\{\sin(t+t_0)\eta-\sin(t+t_1)\eta+\sin(t-t_0)\eta-\sin(t-t_1)\eta\Big\}$$

なるを以て (1)式より (2) 式の各積分値は

$$\mathrm{I}_1=f_1(t,\ t_0)-f_1(t,\ t_1)=0 \qquad t<t_0<t_1$$

$$=\frac{\pi}{2} \qquad t_0<t<t_1$$

$$=0 \qquad t_0<t_1<t$$

$$\mathrm{I}_2=\mathrm{I}_1+\frac{\beta_2^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{4}\Big\{\cos\beta_1(t+t_0)-\cos\beta_1(t+t_1)-\cos\beta_1(t_0-t)+\cos\beta_1(t_1-t)\Big\}$$

$$-\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{4}\Big\{\cos\beta_2(t+t_0)-\cos\beta_2(t+t_1)-\cos\beta_2(t_0-t)+\cos\beta_2(t_1-t)\Big\}$$

$$0<t<t_0$$

$$\mathrm{I}_2=\mathrm{I}_1+\frac{\beta_2^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{4}\Big\{\cos\beta_1(t+t_0)-\cos\beta_1(t+t_1)+\cos\beta_1(t-t_0)+\cos\beta_1(t_1-t)\Big\}$$

$$-\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{4}\Big\{\cos\beta_2(t+t_0)-\cos\beta_2(t+t_1)+\cos\beta_2(t-t_0)+\cos\beta_2(t_1-t)\Big\}$$

$$t_0<t<t_1$$

$$I_2=I_1+\frac{\pi}{4}\frac{\beta_2^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\cos\beta_1(t+t_0)-\cos\beta_1(t+t_1)+\cos\beta_1(t-t_0)-\cos\beta_1(t-t_1)\right\}$$

$$-\frac{\pi}{4}\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\cos\beta_2(t+t_0)-\cos\beta_2(t+t_1)+\cos\beta_2(t-t_0)-\cos\beta_2(t-t_1)\right\}$$

$$t_1<t$$

又は

$$I_2=\frac{\pi}{2}\frac{1}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{(\beta_2^2-k_1^2)(\sin\beta_1t_1-\sin\beta_1t_0)\sin\beta_1t\right.$$

$$\left.-(\beta_1^2-k_1^2)(\sin\beta_2t_1-\sin\beta_2t_0)\sin\beta_2t\right\} \qquad 0<t<t_0$$

$$I_2=\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{2}\frac{1}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{(\beta_2^2-k_1^2)(\cos\beta_1t_0\cos\beta_1t+\sin\beta_1t_1\sin\beta_1t)\right.$$

$$\left.-(\beta_1^2-k_1^2)(\cos\beta_2t_0\cos\beta_2t+\sin\beta_2t_1\sin\beta_2t)\right\} \qquad t_0<t<t_1$$

$$I_2=\frac{\pi}{2}\frac{1}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{(\beta_2^2-k_1^2)(\cos\beta_1t_0-\cos\beta_1t_1)\cos\beta_1t\right.$$

$$\left.-(\beta_1^2-k_1^2)(\cos\beta_2t_0-\cos\beta_2t_1)\cos\beta_2t\right\} \qquad t_1<t$$

$$I_3=\frac{\pi}{2}(\cos\beta_1t_1-\cos\beta_1t_0),\quad I_4=\frac{\pi}{2}(\cos\beta_2t_1-\cos\beta_2t_0)$$

(2) 式に I_1, I_2, I_3, I_4 の値を代入して整理すれば P の値は次の如し.

$$\left.\begin{aligned}
&P=0 && 0<t<t_0\\
&P=\frac{c_1\varepsilon k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\beta_1^2}\cos\beta_1(t-t_0)+\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_2^2}\cos\beta_2(t-t_0)\right\} && t_0<t<t_1\\
&P=\frac{c_1\varepsilon k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\beta_1^2}\cos\beta_1(t-t_0)+\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_2^2}\cos\beta_2(t-t_0)\right\}\\
&\quad-\frac{c_1\varepsilon k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\beta_1^2}\cos\beta_2(t-t_1)+\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_2^2}\cos\beta_2(t-t_1)\right\} && t_1<t<\infty
\end{aligned}\right\}\cdots(3)$$

2. 障碍物が三角形なる場合

(22) 式の $F(a)$ を (10) 式に代入し $av=\eta$ と置けば

$$
\left.
\begin{aligned}
y_1 &= -\frac{2\varepsilon}{\pi}\int_0^\infty \frac{k_1^2(k_2^2-\eta^2)}{\eta^2(\eta^2-\beta_1^2)(\eta^2-\beta_2^2)} f(\eta)\sin t\eta\, d\eta - \frac{2\varepsilon}{\pi}\frac{k_1^2(\beta_1^2-k_2^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_1 t \\
&\quad \int_0^\infty \frac{f(\eta)}{\eta(\eta^2-\beta_1^2)}d\eta - \frac{2\varepsilon}{\pi}\frac{k_1^2(\beta_2^2-k_2^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_2 t\int_0^\infty \frac{f(\eta)}{\eta(\eta^2-\beta_2^2)}d\eta \\
y_2 &= -\frac{2\varepsilon}{\pi}\int_0^\infty \frac{k_1^2k_2^2}{\eta^2(\eta^2-\beta_1^2)(\eta^2-\beta_2^2)} f(\eta)\sin t\eta\, d\eta - \frac{2\varepsilon}{\pi}\frac{k_1^2k_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_1 t \\
&\quad \int_0^\infty \frac{f(\eta)}{\eta(\eta^2-\beta_1^2)}d\eta - \frac{2\varepsilon}{\pi}\frac{k_1^2k_2^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_2 t\int_0^\infty \frac{f(\eta)}{\eta(\eta^2-\beta_2^2)}d\eta \\
P &= \frac{2c_1\varepsilon}{\pi}\int_0^\infty \frac{f(\eta)}{\eta^2}\sin t\eta\, d\eta - \frac{2c_1\varepsilon}{\pi}\int_0^\infty \frac{k_1^2(k_2^2-\eta^2)f(\eta)}{\eta^2(\eta^2-\beta_1^2)(\eta^2-\beta_2^2)}\sin t\eta\, d\eta \\
&\quad - \frac{2c_1\varepsilon}{\pi}\frac{k_1^2(\beta_1^2-k_2^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_1 t\int_0^\infty \frac{f(\eta)}{\eta(\eta^2-\beta_1^2)}d\eta \\
&\quad - \frac{2c_1\varepsilon}{\pi}\frac{k_1^2(k_2^2-\beta_2^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_2 t\int_0^\infty \frac{f(\eta)}{\eta(\eta^2-\beta_2^2)}d\eta
\end{aligned}
\right\} \quad (4)
$$

但し

$$
f(\eta) = \frac{\sin t_1\eta - \sin t_0\eta}{t_1-t_0} - \frac{\sin t_2\eta - \sin t_1\eta}{t_2-t_1}
$$

然るに

$$
\frac{k_1^2(k_2^2-\eta^2)}{\eta^2(\eta^2-\beta_1^2)(\eta^2-\beta_2^2)} = \frac{1}{\eta^2} - \frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{1}{\eta^2-\beta_1^2} + \frac{k_1^2-\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{1}{\eta^2-\beta_2^2}
$$

$$
\frac{1}{\eta(\eta^2-\beta_1^2)} = -\frac{1}{\beta_1^2}\frac{1}{\eta} + \frac{1}{\beta_1^2}\frac{\eta}{\eta^2-\beta_1^2}
$$

$$
\frac{1}{\eta(\eta^2-\beta_2^2)} = -\frac{1}{\beta_2^2}\frac{1}{\eta} + \frac{1}{\beta_2^2}\frac{\eta}{\eta^2-\beta_2^2}
$$

且つ

$$
(\sin t_1\eta - \sin t_0\eta)\sin t\eta = \frac{1}{2}\left\{\cos(t_1-t)\eta - \cos(t_0-t)\eta - \cos(t_1+t)\eta + \cos(t_0+t)\eta\right\}
$$

$$
(\sin t_2\eta - \sin t_1\eta)\sin t\eta = \frac{1}{2}\left\{\cos(t_2-t)\eta - \cos(t_1-t)\eta - \cos(t_2+t)\eta + \cos(t_1+t)\eta\right\}
$$

なるを以て (1) 式の積分値を用ひて

$$
\begin{aligned}
I_1 &= \frac{2}{\pi}\int_0^\infty \frac{k_1^2(k_2^2-\eta^2)}{\eta^2(\eta^2-\beta_1^2)(\eta^2-\beta_2^2)} f(\eta)\sin t\eta\, d\eta \\
&= \frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\cos\beta_1 t_0 - \cos\beta_1 t_1}{\beta_1(t_1-t_0)}\sin\beta_1 t - \frac{\cos\beta_1 t_1 - \cos\beta_1 t_2}{\beta_1(t_2-t_1)}\sin\beta_1 t\right\} \\
&\quad + \frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\cos\beta_2 t_0 - \cos\beta_2 t_1}{\beta_2(t_1-t_0)}\sin\beta_2 t - \frac{\cos\beta_2 t_1 - \cos\beta_2 t_2}{\beta_2(t_2-t_1)}\sin\beta_2 t\right\} \qquad t<t_0<t_1
\end{aligned}
$$

$$I_1=\frac{t-t_0}{t_1-t_0}+\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1t_0\cos\beta_1t-\cos\beta_1t_1\sin\beta_1t}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\cos\beta_1t_1-\cos\beta_1t_2}{\beta_1(t_2-t_1)}\sin\beta_1t\right\}$$

$$+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2t_0\cos\beta_2t-\cos\beta_2t_1\sin\beta_2t}{\beta_2(t_1-t_0)}-\frac{\cos\beta_2t_1-\cos\beta_2t_2}{\beta_2(t_2-t_1)}\sin\beta_2t\right\}\quad t_0<t<t_1$$

$$I_1=\frac{t_2-t}{t_2-t_1}+\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1t_0-\sin\beta_1t_1}{\beta_1(t_1-t_0)}\cos\beta_1t-\frac{\sin\beta_1t_1\cos\beta_1t-\cos\beta_1t_2\sin\beta_1t}{\beta_1(t_2-t_1)}\right\}$$

$$+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2t_0-\sin\beta_1t_1}{\beta_2(t_1-t_0)}\cos\beta_1t-\frac{\sin\beta_2t_1\cos\beta_2t-\cos\beta_2t_2\sin\beta_2t}{\beta_2(t_2-t_1)}\right\}\quad t_1<t<t_2$$

$$I_1=\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1t_0-\sin\beta_1t_1}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_1t_1-\sin\beta_1t_2}{\beta_1(t_2-t_1)}\right\}\cos\beta_1t$$

$$+\frac{k_1^2-\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2t_0-\sin\beta_2t_1}{\beta_2(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_2t_1-\sin\beta_2t_2}{\beta_2(t_2-t_1)}\right\}\cos\beta_2t\qquad t_2<t$$

$$I_2=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty\frac{f(\eta)}{\eta(\eta^2-\beta_1^2)}d\eta\quad=\frac{\cos\beta_1t_1-\cos\beta_1t_0}{\beta_1^2(t_1-t_0)}-\frac{\cos\beta_1t_2-\cos\beta_1t_1}{\beta_1^2(t_2-t_1)}$$

$$I_3=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty\frac{f(\eta)}{\eta(\eta^2-\beta_2^2)}d\eta\quad=\frac{\cos\beta_2t_1-\cos\beta_2t_0}{\beta_2^2(t_1-t_0)}-\frac{\cos\beta_2t_2-\cos\beta_2t_1}{\beta_2^2(t_2-t_1)}$$

$$I_4=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty\frac{f(\eta)}{\eta^2}\sin t\eta d\eta\quad=0\quad t<t_0\ ,\quad=\frac{t-t_0}{t_1-t_0}\qquad t_0<t<t_1$$

$$=\frac{t_2-t}{t_2-t_1}\qquad t_1<t<t_2\ ,\quad=0\qquad t_2<t$$

是等の値を (4) 式に代入して整理すれば

$$y_1=0\qquad t<t_0$$

$$y_1=-\varepsilon\left\{\frac{t-t_0}{t_1-t_0}-\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(t-t_0)}-\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2(t-t_0)}\right\}\qquad t_0<t<t_1$$

$$y_1=-\varepsilon\left[\frac{t_2-t}{t_2-t_1}+\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_1)-\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(t_1-t_0)}+\frac{\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_2-t_1)}\right\}\right.$$

$$\left.+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_1)-\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2(t_1-t_0)}+\frac{\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_2-t_1)}\right\}\right]\qquad t_1<t<t_2$$

$$y_1=-\varepsilon\left[\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_1)-\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_1(t-t_2)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_2-t_1)}\right\}\right.$$

$$\left.+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_1)-\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_2(t-t_2)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_2-t_1)}\right\}\right]\quad t_2<t$$

$$y_2=0\qquad t<t_0$$

$$y_2=-\varepsilon\left[\frac{t-t_0}{t_1-t_0}+\frac{\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1-t_0)}\right]\qquad t_0<t<t_1$$

$$y_2=-\varepsilon\left[\frac{t_2-t}{t_2-t_1}+\frac{\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_2-t_1)}\right\}\right.$$

$$-\frac{\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_2-t_1)}\right\}\Big] \qquad t_1<t<t_2$$

$$y_2=-\varepsilon\Big[\frac{\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_1(t-t_1)-\sin\beta_1(t-t_2)}{\beta_1(t_2-t_1)}\right\}$$

$$-\frac{\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_2(t-t_1)-\sin\beta_2(t-t_2)}{\beta_2(t_2-t_1)}\right\}\Big] \qquad t_2<t$$

$$P=0 \qquad 0<t<t_0$$

$$P=\frac{c_1\varepsilon}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{t_1-t_0}+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{t_1-t_0}\right\} \qquad t_0<t<t_1$$

$$P=\frac{c_1\varepsilon}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_1(t-t_1)}{t_2-t_1}\right\}$$

$$+\frac{c_1\varepsilon}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_2(t-t_1)}{t_2-t_1}\right\} \qquad t_1<t<t_2$$

$$P=c_1\varepsilon\frac{(k_1^2-\beta_2^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_1(t-t_1)-\sin\beta_1(t-t_2)}{t_2-t_1}\right\}$$

$$+c_1\varepsilon\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_2(t-t_1)-\sin\beta_2(t-t_2)}{t_2-t_1}\right\}$$

$$t_2<t \qquad \cdots\cdots(5)$$

3　障碍物が梯形なる場合

本文の (25) 式の $F(a)$ を本文の (10) 式に代入し $av=\eta$ と置けば (4) 式と同様にして唯式中の $f(\eta)$ の値が異なる

$$f(\eta)=\frac{\sin t_1\eta-\sin t_0\eta}{t_1-t_0}-\frac{\sin t_3\eta-\sin t_2\eta}{t_3-t_2}$$

從つて y_1, y_2, P の値は 2 に於ける積分値を用ひて容易に求め得る。卽ち

$$y_1=0 \qquad t<t_0$$

$$y_1=-\varepsilon\left\{\frac{t-t_0}{t_1-t_0}-\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2(t_1-t_0)}\right\} \qquad t_0<t<t_1$$

$$y_1=-\varepsilon\Big\{1-\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1-t_0)}$$

$$-\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1-t_0)}\Big\} \qquad t_1<t<t_2$$

$$y_1=-\varepsilon\Big[\frac{t_3-t}{t_3-t_2}-\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_1(t-t_2)}{\beta_1(t_3-t_2)}\right\}$$

$$-\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_2(t-t_2)}{\beta_2(t_3-t_2)}\right\} \qquad t_2<t<t_3$$

$$y_1=+\varepsilon\left[\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_1(t-t_2)-\sin\beta_1(t-t_3)}{\beta_1(t_3-t_2)}\right\}\right.$$

$$\left.\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_2(t-t_2)-\sin\beta_2(t-t_3)}{\beta_2(t_3-t_2)}\right\}\right]\quad t_3<t$$

$$y_2=0\qquad t<t_0$$

$$y_2=-\varepsilon\left\{\frac{t-t_0}{t_1-t_0}+\frac{\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2(t_1-t_0)}\right\}\quad t_0<t<t_1$$

$$y_2=-\varepsilon\left\{1+\frac{\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1-t_0)}\right.$$

$$\left.-\frac{\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1-t_0)}\right\}\qquad t_1<t<t_2$$

$$y_2=-\varepsilon\left[\frac{t_3-t}{t_3-t_2}-\frac{\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_1)-\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(t_1-t_0)}+\frac{\sin\beta_1(t-t_2)}{\beta_1(t_3-t_2)}\right\}\right.$$

$$\left.+\frac{\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_1)-\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2(t_1-t_0)}+\frac{\sin\beta_2(t-t_2)}{\beta_2(t_3-t_2)}\right\}\right]\qquad t_2<t<t_3$$

$$y_2=\varepsilon\left[\frac{\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_1)-\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_1(t-t_3)-\sin\beta_1(t-t_2)}{\beta_1(t_3-t_2)}\right\}\right.$$

$$\left.-\frac{\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_1)-\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_2(t-t_3)-\sin\beta_2(t-t_2)}{\beta_2(t_3-t_2)}\right\}\right]\quad t_3<t$$

$$P=0\qquad t<t_0$$

$$P=c_1\varepsilon\left\{\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(t_1-t_0)}+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2(t_1-t_0)}\right\}\qquad t_0<t<t_1$$

$$P=c_1\varepsilon\left[\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1-t_0)}\right\}\right.$$

$$\left.+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1-t_0)}\right\}\right]\qquad t_1<t<t_2$$

$$P=c_1\varepsilon\left[\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_1(t-t_2)}{\beta_1(t_3-t_2)}\right\}\right.$$

$$\left.+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_2(t-t_2)}{\beta_2(t_3-t_2)}\right\}\right]\qquad t_2<t<t_3$$

$$P=c_1\varepsilon\left[\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_1(t-t_2)-\sin\beta_1(t-t_3)}{\beta_1(t_3-t_2)}\right\}\right.$$

$$\left.+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1-t_0)}-\frac{\sin\beta_2(t-t_2)-\sin\beta_2(t-t_3)}{\beta_2(t_3-t_2)}\right\}\right.$$

$$t_3<t<\infty\qquad\cdots\cdots(6)$$

附　錄　IV

$$\left.\begin{aligned}&\frac{d^2y_1}{dt^2}+(k_1^2+\gamma k_2^2)y_1-\gamma k_2^2y_2=-k_1^2\varepsilon\sin\frac{\pi}{t_1-t_0}(t-t_0)\\&\frac{d^2y_2}{dt^2}+k_2^2y_2-k_2^2y_1=0\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(1)$$

(1) 式の解を附錄 I と同様なる方法にて求むれば

$$\left.\begin{aligned}y_1=&A_1\sin\beta_1t+A_2\cos\beta_1t+A_3\sin\beta_2t+A_4\cos\beta_2t\\&-\frac{\varepsilon k_1^2\left\{k_2^2-\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2\right\}}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2\right\}\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2\right\}}\sin\frac{\pi}{t_1-t_0}(t-t_0)\\y_2=&\frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_1^2}(A_1\sin\beta_1t+A_2\cos\beta_1t)+\frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_2^2}(A_3\sin\beta_2t+A_4\cos\beta_2t)\\&-\frac{\varepsilon k_1^2k_2^2}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2\right\}\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2\right\}}\sin\frac{\pi}{t_1-t_0}(t-t_0)\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(2)$$

式中 A_1, A_2, A_3, A_4 は常數を示す.

然るに $0<t<t_0$ の區域には障碍物が存在せざるを以て $y_1=0$, $y_2=0$ である.

從つて (2) 式の y_1, y_2 が $t=t_0$ に於て滿足すべき條件は

$$\left.\begin{aligned}&y_1=0, \qquad y_2=0\\&\frac{dy_1}{dt}=0, \qquad \frac{dy_2}{dt}=0\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(3)$$

(2) 式を (3) 式に代入し聯立方程式より A_1, A_2, A_3, A_4 を求むれば

$$\left.\begin{aligned}A_1=&\varepsilon k_1^2\frac{k_2^2-\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{\beta_1(t_1-t_0)}\frac{\cos\beta_1t_0}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2\right\}}\\A_2=&-\varepsilon k_1^2\frac{k_2^2-\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{\beta_1(t_1-t_0)}\frac{\sin\beta_1t_0}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2\right\}}\\A_3=&-\varepsilon k_1^2\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{\beta_2(t_1-t_0)}\frac{\cos\beta_2t_0}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2\right\}}\\A_4=&\varepsilon k_1^2\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{\beta_2(t_1-t_0)}\frac{\sin\beta_2t_0}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2\right\}}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(4)$$

(4) 式の A_1, A_2, A_3, A_4 を (2) 式に代入し且つ本文の (2) 式を用ひ, y_1, y_2, P を求むれば

$$y_1=\frac{\varepsilon k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{t_1-t_0}\left\{\frac{k_2^2-\beta_1^2}{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1}-\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2}\right\}$$

$$-\frac{\varepsilon k_1^2\left\{k_2^2-\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2\right\}}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2\right\}\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2\right\}}\sin\frac{\pi}{t_1-t_0}(t-t_0)$$

$$y_2=\frac{\varepsilon k_1^2k_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{t_1-t_0}\left\{\frac{1}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2\right\}}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1}-\frac{1}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2\right\}}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2}\right\}$$

$$-\frac{\varepsilon k_1^2k_2^2}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2\right\}\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2\right\}}\sin\frac{\pi}{t_1-t_0}(t-t_0)$$

$$P=c_1\varepsilon\left[1-\frac{k_1^2\left\{k_2^2-\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2\right\}}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2\right\}\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2\right\}}\right]\sin\frac{\pi}{t_1-t_0}(t-t_0)$$

$$+\frac{c_1\varepsilon k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{t_1-t_0}\left\{\frac{k_2^2-\beta_1^2}{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1}-\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2}\right\}$$

……(5)

$t_1<t$ なる區域に於ては障碍物存在せざるを以て y_1, y_2 の値は (2) 式より $\varepsilon=0$ として求められる，今 y_1, y_2 の代りに夫々 Y_1, Y_2 とすれば

$$\left.\begin{aligned}Y_1&=A_1\sin\beta_1t+A_2\cos\beta_1t+A_2\sin\beta_2t+A_4\cos\beta_2t\\Y_2&=\frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_1^2}(A_1\sin\beta_1t+A_2\cos\beta_1t)+\frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_2^2}(A_3\sin\beta_2t+A_4\cos\beta_2t)\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(6)$$

然るに y_1 と Y_1, y_2 と Y_2 は接續點 $t=t_1$ に於て連續的に結合するを以て兩者の間には次の關係あり．

$$\left.\begin{aligned}&Y_1=y_1, \qquad Y_2=y_2\\&\frac{dY_1}{dt}=\frac{dy_1}{dt}, \quad \frac{dY_2}{dt}=\frac{dy_2}{dt} \qquad at \quad t=t_1\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(7)$$

(7) 式に (5) 式, (6) 式を代入して A_1, A_2, A_3, A_4 を求むれば

$$\left.\begin{aligned}
A_1&=\frac{\varepsilon k_1^2(k_2^2-\beta_1^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\frac{\pi}{t_1-t_0}\frac{\cos\beta_1 t_0+\cos\beta_1 t_1}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2\right\}}\\
A_2&=-\frac{\varepsilon k_1^2(k_2^2-\beta_1^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta^2)}\frac{\pi}{t_1-t_0}\frac{\sin\beta_1 t_0+\sin\beta_1 t_1}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2\right\}}\\
A_3&=-\frac{\varepsilon k_1^2(k_2^2-\beta_2^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\frac{\pi}{t_1-t_0}\frac{\cos\beta_2 t_0+\cos\beta_2 t_1}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2\right\}}\\
A_4&=\frac{\varepsilon k_1^2(k_2^2-\beta_2^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\frac{\pi}{t_1-t_0}\frac{\sin\beta_2 t_0+\sin\beta_2 t_1}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2\right\}}
\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(8)$$

從つて P の値は

$$P=-\frac{\varepsilon c_1 k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{t_1-t_0}\left\{\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)+\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1}\right.$$

$$\left.+\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)+\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2}\right\}\quad\cdots\cdots(9)$$

附　錄　V　　內部摩擦力の影響

車輪及車體の變形は內部摩擦力の爲に時と共に減少し，路面に作用する衝撃の大さは障碍物より遠ざかると共に漸次小となつて行く．本節に於ては衝撃の大さに及ぼす內部摩擦力の作用の大體の傾向を求める．

自動車の上下振動の際働らく內部摩擦力中主なるものは輪帶及車體を支持する彈條の變形によるものである．物體の內部に作用する內部摩擦力に就ては二通りの考へ方，卽ち內部摩擦力が變形の速度に比例するもの及變形量そのものに比例するものがある．然し衝撃の大さが時間と共に減少する程度を求めるにはいづれの考へ方に依るも實際上は著しい差異はないと考へらる．從つて本節に於ては內部摩擦力が變形の速度の一乘に比例するとして計算する．本文の第2圖より輪帶の變形量は伸びを正とする時 (y_0-y_1)，彈條の變形量は (y_1-y_2)，內部摩擦力の係數を輪帶及彈條に就て夫々 η_1 及 η_2 にて示す時彈上荷重及彈下荷重の運動方程式は

$$m_2\frac{d^2y_2}{dt^2}+\eta_2\frac{d(y_2-y_1)}{dt}=c_2(y_1-y_2)$$

$$m_1\frac{d^2y_1}{dt^2}+\eta_1\frac{d(y_1-y_0)}{dt}-\eta_2\frac{d(y_2-y_1)}{dt}=c_1(y_0-y_1)-c_2(y_1-y_2)$$

又は m_2, m_1 にて夫々割つて整理すれば

$$\left.\begin{aligned}&\frac{d^2y_2}{dt^2}+\xi_2\frac{dy_2}{dt}+k_2^2y_2=\xi_2\frac{dy_1}{dt}+k_2^2y_1\\&\frac{d^2y_1}{dt^2}+(\xi_1+\gamma\xi_2)\frac{dy_1}{dt}+(k_1^2+\gamma k_2^2)y_1-\gamma k_2^2y_2-\gamma\xi_2\frac{dy_2}{dt}=k_1^2y_0+\xi_1\frac{dy_0}{dt}\end{aligned}\right\}\cdots(1)$$

但し

$$\frac{c_1}{m_1}=k_1^2,\quad \frac{c_2}{m_2}=k_2^2,\quad \frac{c_2}{m_1}=\gamma k_2^2\qquad \xi_1=\frac{\eta_1}{m_1},\quad \xi_2=\frac{\eta_2}{m_2}$$

路面が平坦なる場合は $y_0=0$ なるを以て

$$\left.\begin{aligned}&\frac{d^2y_2}{dt^2}+\xi_2\frac{dy_2}{dt}+k_2^2y_2-\xi_2\frac{dy_1}{dt}-k_2^2y_1=0\\&\frac{d^2y_1}{dt^2}+(\xi_1+\gamma\xi_2)\frac{dy_1}{dt}+(k_1^2+\gamma k_2^2)y_1-\gamma k_2^2y_2-\gamma\xi_2\frac{dy_2}{dt}=0\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(2)$$

(2) 式の一般解を求める爲に

$$y_1=A_1e^{i\lambda t},\qquad y_2=A_2e^{i\lambda t}$$

と置き，(2) 式に代入すれば

$$A_1(i\xi_2\lambda+k_2^2)-A_2(-\lambda^2+i\xi_2\lambda+k_2^2)=0$$

$$A_1(-\lambda^2+i\xi_1\lambda+i\gamma\xi_2\lambda+k_1^2+\gamma k_2^2)-A_2(\gamma k_2^2+i\gamma\xi_2\lambda)=0$$

上式より A_1, A_2 を消去すれば

$$\lambda^4-i(\xi_1+\xi_2+\gamma\xi_2)\lambda^3-(k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2+\xi_1\xi_2)\lambda^2+i(\xi_2k_1^2+\xi_1k_2^2)\lambda+k_1^2k_2^2=0\quad(3)$$

(3) 式を満足する λ の値は一般に複素数なるを以て

$$\lambda=\beta+i\alpha\qquad(\alpha>0)$$

と置き，(3) 式に代入し實部と虚部とに分ち各々を零と置く時は

$$\left.\begin{aligned}&(\alpha^4+\beta^4-6\alpha^2\beta^2)+\alpha(\xi_1+\xi_2+\gamma\xi_2)(3\beta^2-\alpha^2)\\&\quad+(\alpha^2-\beta^2)(k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2+\xi_1\xi_2)-\alpha(\xi_2k_1^2+\xi_1k_2^2)+k_1^2k_2^2=0\\&(4\alpha\beta^2-4\alpha^3)-(\xi_1+\xi_2+\gamma\xi_2)(\beta^2-3\alpha^2)\\&\quad-2\alpha(k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2+\xi_1\xi_2)+(\xi_2k_1^2+\xi_1k_2^2)=0\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(4)$$

α, β は (4) 式より試算法により求める．上式に於て β は總て β^2 の項にて含まれるを以て β_1^2, β_2^2 にて示し，夫等に相當する α の正の實根を α_1, α_2 とする時 y_1, y_2 は

$$\left.\begin{aligned}y_1&=A_1e^{-\alpha_1t}\sin\beta_1t+A_2e^{-\alpha_1t}\cos\beta_1t+A_3e^{-\alpha_2t}\sin\beta_2t+A_4e^{-\alpha_2t}\cos\beta_2t\\y_2&=B_1e^{-\alpha_1t}\sin\beta_1t+B_2e^{-\alpha_1t}\cos\beta_1t+B_3e^{-\alpha_2t}\sin\beta_2t+B_4e^{-\alpha_2t}\cos\beta_2t\end{aligned}\right\}\cdots(5)$$

且つ A_1, A_2, A_3, A_4 と B_1, B_2, B_3, B_4 の間には次の關係あり．

$$
\left.\begin{aligned}
&B_1=a_1A_1+a_2A_2,\quad B_2=-a_2A_1+a_1A_2\\
&B_3=a_3A_3+a_4A_4,\quad B_4=-a_4A_3+a_3A_4\\
&a_1=\frac{k_2^4+k_2^2(\alpha_1^2-\beta_1^2-2\alpha_1\xi_2)+(\alpha_1^2+\beta_1^2)(\xi_2^2-\alpha_1\xi_2)}{(\alpha_1^2-\beta_1^2-\alpha_1\xi_2+k_2^2)^2+(2\alpha_1\beta_1-\beta_1\xi_2)^2}\\
&a_2=\frac{\beta_1\xi_2(\alpha_1^2+\beta_1^2)-2\alpha_1\beta_1k_2^2}{(\alpha_1^2-\beta_1^2-\alpha_1\xi_2+k_2^2)^2+(2\alpha_1\beta_1-\beta_1\xi_2)^2}\\
&a_3=\frac{k_2^4+k_2^2(\alpha_2^2-\beta_2^2-2\alpha_2\xi_2)+(\alpha_2^2+\beta_2^2)(\xi_2^2-\alpha_2\xi_2)}{(\alpha_2^2-\beta_2^2-\alpha_2\xi_2+k_2^2)^2+(2\alpha_2\beta_2-\beta_2\xi_2)^2}\\
&a_4=\frac{\beta_2\xi_2(\alpha_2^2+\beta_2^2)-2\alpha_2\beta_2k_2^2}{(\alpha_2^2-\beta_2^2-\alpha_2\xi_2+k_2^2)^2+(2\alpha_2\beta_2-\beta_2\xi_2)^2}
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(6)
$$

今 initial condition として

$$y_1=d_1,\quad \frac{dy_1}{dt}=s_1,\quad y_2=d_2,\quad \frac{dy_2}{dt}=s_2\qquad at\quad t=0\cdots\cdots(7)$$

(3) 式の y_1, y_2 の値を (5) 式に代入し，(4) 式を用ひ

$$
\left.\begin{aligned}
&A_2+A_4=d_1,\qquad \beta_1A_1-\alpha_1A_2+\beta_2A_3-\alpha_2A_4=s_1\\
&-\alpha_2A_1+\alpha_1A_2-\alpha_1A_3+\alpha_3A_4=d_2\\
&(\beta_1a_1+\alpha_1a_2)A_1+(\beta_1a_2-\alpha_1a_1)A_2+(\beta_2a_3+\alpha_2a_4)A_3+(\beta_2a_4-\alpha_2a_3)A_4=s_2
\end{aligned}\right\}\cdots(8)
$$

(6) 式より A_1, A_2, A_3, A_4 を求める時衝撃の大さ P は

$$P=c_1\{A_1e^{-\alpha_1t}\sin\beta_1t+A_2e^{-\alpha_1t}\cos\beta_1t+A_3e^{-\alpha_2t}\sin\beta_2t+A_4e^{-\alpha_2t}\cos\beta_2t\}\cdots(9)$$

路面に凹凸が在る場合は (1) 式より同様に求め得らるるも單に内部摩擦力の影響を知るには平坦なる路面にて足る．

數計算

數計算をするに先立ち内部摩擦力の係數 η_1, η_2 を求める必要がある．今 η_1, η_2 の大體の大さを知る爲に輪帶が彈下荷重のみにより上下振動する場合の振幅の減少の割合を求めるに，運動方程式は

$$m_1\frac{d^2y_1}{dt^2}+\eta_1\frac{dy_1}{dt}+c_1y_1=0$$

又は

$$\frac{d^2y_1}{dt^2}+\xi_1\frac{dy_1}{dt}+k_1^2y_1=0\cdots\cdots(10)$$

(7) 式の解を求むれば

$$
\left.\begin{aligned}
&y_1=e^{-\frac{\xi_1t}{2}}(A\sin\beta t+B\cos\beta t)\\
&\text{但し}\quad \beta^2=k_1^2+\frac{3}{4}\xi_1^2
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(11)
$$

彈下荷重の自由振動週期を T, 最初の振幅を δ_0, 一回振動後のそれを δ_1 とすれば (8) 式より

$$\delta_0=B, \qquad \therefore \qquad \delta_1=e^{-\frac{\xi_1}{2}\cdot T}B$$

$$\xi_1=\frac{\sqrt{k_1^2+\frac{3}{4}\xi_1^3}}{2\pi}\,2\log\frac{\delta_0}{\delta_1}\fallingdotseq\frac{k_1}{\pi}\log\frac{\delta_0}{\delta_1} \qquad \cdots\cdots(12)$$

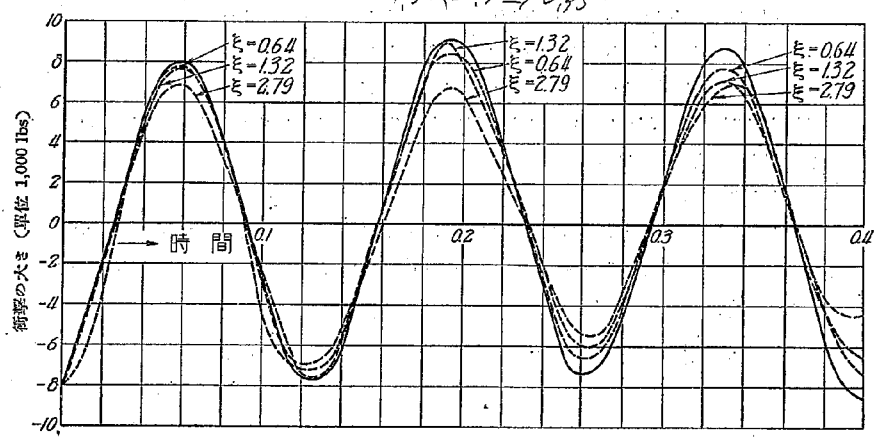
(9) 式より ξ_1 の變化する範圍を大體推定し得る. 本文に於ては更に計算を簡單にする爲に $\xi_2=0$ とした, 然し輪帶と彈條の變形の速度の差異を無視するならば $\xi_2=0$ としその代りに ξ_1 の値を大きくとるも實際上著しい差異はない.

計算に使用したる車輪は複式バルン・タイヤにして, initial condition は次の如し.

$d_1=-1.0986$ 吋　　$d_2=-0.3050$ 吋

$s_1=26.65$吋/秒　　$s_2=1.62$吋/秒

前述の理由により $\xi_2=0$ とし, ξ_1 は次の三つの場合に就て計算し内部摩擦力の存在せざる場合とを第29圖に比較す.



第　29　圖

内部摩擦力の衝撃の大きに及ぼす影響

a) $\delta_1=\frac{19}{20}\delta_0$, $\xi_1=0.6425$,　b) $\delta_1=\frac{9}{10}\delta_0$, $\xi_1=1.3198$,　c) $\delta_1=\frac{4}{5}\delta_0$, $\xi_1=2.7951$.

參 考 文 獻

1. W. Thomé : "Über dynamisch Wechselwirkungen zwischen Fahrzeug und Fahrbahn" Motorwagen 31/20 1928/7/20 S. 450
2. Tames A. Buchanan : "Road impact produced by a heavy motor bus" Public Roads 13/9 1932/8 p. 137
3. 小平吉男： 物理數學 第一卷 頁 451
4. Becker : Daag-Schnellastwagen
5. Erich Bobeth : Die Leistungsverluste und die Abfederung von Kraftwagen Berlin 1913
6. Earl B. Smith : "Motor truck impact test of the Bureau of Public Road" Public Roads 4/1 1921/3

   Earl B. Smith : "The motor truck impact tests of the Bureau of Public Road" Public Roads 4/12 1922/2

   Tames A. Buchanan and T. W. Reid : "Motor truck impact as affected by tires, other track effects and road roughness" Public Roads 7/4 1926/6

   J.T. Thompson : "Effect of pavement type on impact reaction" Public Roads 9/6 1928/8

   J.A. Buchanan and E.G. Lapham : "Effect of wheel type on impact reaction" Public Roads 10/5 1929/7

   J.A. Buchanan : "Calibrations of accelerometers for use in motor truck impact tests :" Public Roads 11/5 1930/7

   I.A. Buchanan : "Motor truck impact as affected by rubber tread thickness of tires" Public Roads 11/7 1930/9

   J. A. Buchanan : "Interrelated effects of load,speed, tires and road roughness on motor truck impact" Public Roads 11/7 1930/7

   J.A. Buckanan : "Impact reactions developed by a modern bus" Public Roads 12/2 1931/4

   J.A. Buchanans : "Road impact produced by a heavy motor bus" Public Roads 13/9 1932/11
7. E.B. Smith : "Motor truck impact test of the Bureau of Public Road" Public Roads 4/1 1921/3 p. 144

瀝青透入マカダムに關する試驗（第一報）

内務技師　山　田　　元
内務技手　船　山　時　雄

目　次

I　緒　　言……（1）
II　現行工法の概說……（2）
III　試驗方法……（14）
IV　材料の性質……（25）
V　試驗の經過及結果……（28）
VI　結　　論……（50）

I　緒　　言

瀝青透入マカダム鋪裝とは主要結合材たる瀝青を現場に於て主骨材間に透入せしめ之を封緘せるマカダム鋪裝にして，一見頗る簡單な工法であるが其適否を明にするには

1）交通の質及量
2）路床及基礎の性狀
3）鋪裝の構造
4）骨材の性質及其生產の經濟的事情
5）結合材の性質及其生產の經濟的事情
6）施工の方法及季節

等を考慮する必要がある．然るに之等各項は互に相關聯して居るから之等の總てに亘つて實驗考慮することは容易でない．故に本報告に於ては先づ瀝青透入マカダム鋪裝の現行工法を概觀し，之に基き基礎層，層厚，工法，骨材の寸法及材質，アスハルト透入量等を異にせる數種のアスハルトマカダム，（以下透入の文字を略す）タールマカダム及アスハルト乳劑マカダム並にセメント混凝土鋪裝等を設け，各種の車輪に對する耐力を比較測定して斯種鋪裝の適當なる工法を探究推定し，且之等三種の結合材の相互間及他種鋪裝との關係的價値を比較檢討し以て鋪裝の採擇，工法の改良に資せむとするものである．

II 現行工法の概說

瀝青透入マカダム鋪裝は，現今一般的に使用せられて居る結合材の種類に據つて分類すれば，(1) アスハルト透入マカダム，(2) タール透入マカダム及 (3) 瀝青乳劑透入マカダムの三種となる．之等に就き現今推奬されて居る工法の大綱を概括すれば次の如くである．

1. アスハルト透入マカダム鋪裝工法大綱

北米 Massachusetts 州示方大要 本鋪裝に最も長い經驗を有する米國中に於て Rhode Island 州と共に最も優秀の成績を擧げつゝある Massachusetts 州に於ては，標準厚を 63.5mm とし，主骨材用粗粒碎石 31.7～63.5mm のものを厚さ 63.5mm に敷均し輕く輾壓し，アスハルト 10.2*l*/m² を撒布し直に楔入用細粒碎石 6.35mm～19.1mm のものを一樣に撒布輾壓し遊離細粒材を除去し，次にアスハルト 2.26*l*/m² を撒布し引き續き細粒材を撒布して輾壓する．

輾壓には 10 噸ローラーを用ひ，表層全工程に對し主骨材 100噸につき 1日 (8 時間) の割合とし，竣工 152.5m 毎に半日の割合を以て折返し輾壓する．アスハルトは通常針度 85～100 度のものを用ひ，表層 1m² の使用量は厚さ 1cm に就き 1.78*l* を標準とする．街路其他交通劇甚なる部分に於ては，更にアスハルト 1.5*l*/m² を撒布し其上に清洗せる豆砂利を撒布して輾壓し過剩の砂利を除去する．

北米 Rhode Island 州示方大要 大さ 38.1～63.5mm の主骨材用粗粒碎石を仕上厚 63.5mm となる樣敷均し充分輾壓せる後アスハルト 7.94*l*/m² を撒布し，直に大さ 16.0～25.4mm の楔入用中粒碎石を均等に撒布して輾壓楔入せしめ，其の上にアスハルト 3.4*l*/m² を撒布し 9.5～16.0mm 封緘用細粒碎石を以て掩ひて輾壓し，以後一週間日々輾壓して仕上ける．アスハルトは針度 90～100 度（陰の多い地方にては 120 度までのもの）とし全使用量 11.3*l*/m² を標準とする．

米國アスハルト協會示方大要 仕上厚 63.5～76.2mm とし，主骨材用粗粒碎石 (31.7～63.5mm) を敷均し，重さ 10 噸以上のローラーを以て略仕上厚に等しく輾壓し，アスハルトを撒布した上に中粒碎石 (19.1～31.7mm) を撒布し，表面の空隙を塡充する迄輾壓した後アスハルト及細粒碎石 (6.35～19.1mm) を以て封緘する．アスハルトの質及第一回透入量は鋪裝厚，交通量及氣候等に據つて異り，厚さ 76.2mm の場合は第一回 7.94～9.07*l*/m²，第二回 2.27～3.40*l*/m²，計 11.30～12.47*l*/m² とし，厚さ 63.5mm の場合は第一回 6.80～7.94*l*/m²，第二回 2.27～3.40*l*/m² 計 10.25～11.30*l*/m² を用ひ，針度は 80～150 度以內に於て氣候及交通の程度に從つて次表の如く定める．但主骨材用碎石が軟質の爲，

厚さを 76.2mm とせる場合は粗粒碎石寸法を 31.7～76.2mm とし，アスハルトは氣候，交通の如何に拘はらず常に針度 120～150 度のものを用ひる．

アスハルト針度

交通の程度	低溫地方	溫和地方	高溫地方
輕交通	120～150	90～120	80～90
中交通	90～120	90～120	80～90
重交通	80～90	80～90	80～90

米國都市技術者協會示方大要　仕上厚 76.2mm を標準とする瀝アスハルトの透入量を少しく增加せる外殆ど前揭アスハルト協會示方に準じて居る．アスハルトは針度 85～150 度とし，透入量は 7.94～11.34 l/m^2，封緘用は前示方同樣 2.27～3.40 l/m^2，計 11.34～14.74 l/m^2 である．碎石寸法は次表の如く上下兩限界は前示方通りであるが中間の%を限定して居る．

碎石寸法 (mm)	名稱	篩通過百分率（篩寸法 mm）								
		76.2	63.5	50.8	38.1	31.7	25.4	19.1	12.7	6.35
31.7～63.5	粗粒材	100	95～100	25～75	—	0～15	—	—	—	—
19.1～31.7	中粒材	—	—	—	100	95～100	25～75	0～15	—	—
6.35～19.1	細粒材	—	—	—	—	—	100	95～100	25～75	0～15

英國標準規格大要　英國工業標準規格協會が 1928 年 12 月制定せる英國標準規格に於ては，仕上厚を 7.6～10.2cm の範圍とし，主骨材用粗粒碎石は 50.8mm 級[1] を標準とし，結合材が透入し易い場合に限り 50.8～19.1mm の混合粒度のものを許容し，輾壓後の最小厚が所定仕上厚以下とならない樣均一に散均し，輾壓し，又はせずして，アスハルトを撒布し，直に 19.1mm 級細粒碎石を撒布輾壓し，再びアスハルト及 19.1mm 級細粒碎石を撒布し充分輾壓して封緘する．アスハルトは針度 65～45 度，其の使用量は別に數量を規定せず，透入には碎石間の空隙を填充するに足る量，封緘には表面を塗裝するに足る量を標準とする．第一回の細粒碎石の使用量はアスハルト透入前の輾壓の有無に據つて異り，輾壓する場合には 10.0～11.9kg/m²，輾壓しない場合には空隙を填充するに足る量とする．

獨逸自動車道路研究會標準規格案　獨逸自動車道路研究會が 1928 年 4 月制定せる標準示方書案に於ては，仕上厚を 5～8cm とし，主骨材には 3.5～5.0cm 級及 2.5～3.5cm 級碎石の混交せるものを用ひ之を上述の厚さに散均して輾壓し，アスハルト 7～12 l/m^2 を透入せしめ 12～25mm 細粒碎石を撒布し輕く輾壓せる後再びアスハルトを撒布し 3～12mm

1) 英國工業標準規格 (B.E.S) No. 63 中碎石標準寸法

細粒碎石を撒布し充分輾壓して封緘する．アスハルトは熔融點 (K.S) 20～35°C，針度 60～150 度の範圍のもの，ローラーは重さ 12 噸までのものを用ひる．

Reiner 氏提案示方大要 Reiner 氏は其著 "Handbuch der neuen Strassenbauweisen" 中に於て，仕上厚は基礎支持力，交通量，及石質等に據り 6.5～9.0cm の範圍とし其最大主骨材の寸法に對する比は最大 1.25 とし成る可く 1.00 に近からしむべく；其の構造は寧ろタールマカダムに倣ひ最下第一層は骨材最大寸法と同厚とし，順次中粒，細粒の順に三層若しくは四層にすべしと主張し，アスハルトは熔融點 (K.S) 28°～40°C，針度は 60～120 度の範圍内に於て輕交通には 100～120 度，中交通には 85～100 度，重交通には 60～80 度，其使用量は第一回は厚さ 1cm に就き 1.10～1.21 l/m², 第二回は 2.5 l/m², 第三回 1.5 l/m² とし，碎石寸法は次表の如くし主骨材は厚さに應じて二種を混用すべく，ローラーは 10～12噸として居る．

第 1 表　アスハルト透入

番號	名稱	表層仕上厚 (mm)	碎石寸法 (mm) 粗粒	中粒	細粒
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	北米 Massachusetts	63.5	31.7～63.5	6.3～19.1	—
2	同上街路其他重交通用	63.5	31.7～63.5	6.3～19.1	豆砂利
3	北米 Rhode Island	63.5	38.1～63.5	15.9～25.4	9.5～15.9
4	米國アスハルト協會 (A.I)	63.5	31.7～63.5	19.1～31.7	6.3～19.1
		76.2	31.7～63.5	—	—
			31.7～76.2[3]	—	—
5	米國都市技術協會 (A.S.M.I.)	76.2	31.7～63.5[4]	19.1～31.7[5]	6.3～19.1[6]
6	英國標準規格 (B.E.S.)	76～102	38.1～63.5[7]	12.7～19.1[8,9]	12.7～19.1[8]
7	獨逸自動車道路研究會 (Stufa)	50～80	35～50[10]	12～25	3～12
			25～35		
8	Reiner 氏提案	65～90	25～50[12]	12～25	3～8
			35～65	18～32	6～12
9	內務省土木局	50～80	50 級[14]	20 級[15]	15 級[16] 及 No.10～No.20
			80 級[18]	20 級[15]	15 級 及 No.10～No.20

碎石寸法表 (mm)

層の厚さ	下層用	中層用	上層用
大	35～65	18～32	6～12
小	25～50	12～25	3～8

內務省土木局示方大綱　我內務省土木局示方書に於ては，設計厚を 5cm 及 8cm の二種に分ち，主骨材名儀寸法は夫々厚さと等しくして 50mm 級及 80mm 級碎石を用ひ之を上記の厚さに敷均し輾壓し（アスハルト粘度に由り必要ある時は 20mm 級碎石を撒布し），アスハルト 4l/m^2 又は 5l/m^2 及 20mm 級碎石 15l/m^2 又は 20l/m^2 を撒布輾壓し，再びアスハルト 2l/m^2 又は 3l/m^2，15mm 級碎石 10l/m^2 を撒布輾壓し，更に必要に應じ等量のアスハルト及 No.10～No.20 荒目の砂 5l/m^2 を用ひ輾壓封緘する．アスハルトは針度 85～200 度，總量は 8l/m^2 又は 10l/m^2 とする．碎石寸法は次表を標準とする．

マカダム表層工法大綱比較

アスハルト使用量 (l/m^2)				アスハルト針度	摘要
透入用	封緘用 第一回	封緘用 第二回	計		
(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
10.20	2.26	—	12.46[1]	85～100	1) 厚 1cm, 面積 1m^2 に付き 1.8l
10.20	2.26	1.50	13.96	同上	
7.94	3.40	—	11.34	90～100[2]	2) 塵の多い地方は 120 度迄許す
6.80～7.94	2.27～3.40	—	10.25～11.30	80～150	
7.94～9.07	2.27～3.40	—	11.30～12.47	120～150[3]	3) 石質軟弱なるとき
〃	〃	—	〃		4) 50.8 通過 25～75%
					5) 25.4 通過 〃
7.94～11.34	2.27～3.40	—	11.34～14.74	85～150	6) 12.7 通過 〃
					7) 2″ 級, 8) ¾″ 級
規定せず	規定せず	—	規定せず	45～65	9) アスハルト撒布前輾壓する場合は 12～10kg/m^2
					10) 二種を混用
7～12	規定せず	—	規定せず	60～150[11]	11) 熔融點 (K.S.) 20～35°C
					12) 厚さ同大若しくは 1/1.25
					13) 熔融點 (K.S.) 28°～40°C
厚さ 1cm に付き 1.10～1.21	2.50	1.50	11.15～14.90	60～120[13]	14) 40 篩通過 30～70%
					15) 15 篩 〃 〃
					16) 10 篩 〃 25～75%
4～6	2	2～0[17]	8	85～200	17) 此の封緘を略するときは (6) 內No. 10～No.20 を省く
5～7	3	2～0[17]	10	〃	18) 50 篩通過 30～70%

篩通過百分率

篩寸法 (mm) / 碎石級名 (mm)	5	10	15	20	30	40	50	80
15	0～10	25～75	90～100	—	—	—	—	—
20	—	0～10	30～ 70	90～100	—	—	—	—
50	—	—	—	—	0～10	30～70	90～100	—
80	—	—	—	—	—	0～10	30～ 70	90～100

以上の外，佛國に於ては特に公定せる示方書なくタールマカダム工法に準ずるか又は米國アスハルト協會示方に則る様である．以上を概括すれば第1表の如くである．

以上を通觀するに，工法に關しては，(1)透入及封緘の二層より成るものと，(2)タールマカダム工法に準ずるものとに二大別される．厚さに就て見るに，其選定に當り，(1)一定厚を限定せるもの，(2)環境狀件に據り 25～30mm の增減をなすものとの二種あるも，其値は最小 50mm，最大 102mm の範圍内にあり．限定せるものは多くは 63.5mm を採り，獨り米國都市技術協會のみ 76.2mm を採る．

碎石種類は，主骨材の外一種類を用ひるもの，二種類を用ひるもの及更に粗砂の類を用ひるもの等あり，主骨材の大さは，最大は概ね厚さと等しく，最小は厚さの 1/2 に等しきもの，1/2 より稍大なるもの，小なるもの等の別があり，中粒材を用ふるに特に挾入材として其寸法を指定せるもの，主骨材最小寸法以下とするもの又は細粒材と同大とするもの等がある．

アスハルトの撒布は二回乃至三回とし，其使用量は，英國標準は一切規定せざるも他の多くは單位面積に對する總量或は單位厚に對する單位量を規定し，總量 8～15 l/m^2，厚さ 1 cm につき 1.25～1.93 l/m^2 の範圍内にあり，透入量卽ち第一回撒布量は厚さ 1cm につき 0.63～1.61 l/m^2，第二回撒布量卽ち第一回封緘用量は 2.0～3.4 l/m^2，第三回撒布量は最大 2 l/m^2 である．而してアスハルトの品質に就ては英國標準は針度特に低きものを可として 45～65 度と定めるに對し米國に於ては最低 80～85 度とし最高 150 度までを許容して居り，獨逸に於ては最低を 60 度として居る．

2. タール透入マカダム鋪裝工法大綱

透入法に據るタールマカダム鋪裝の工法はタールの性質に據り加熱式及常溫式の二種に分れるが常溫式には公定の示方は尠いから加熱式に就き現工法の代表的なるもの>大綱を見れば次の如くである．

米國加熱式工法大要 米國に於ては多くアスハルト透入マカダムと略同樣の工法を用ひる．一例として Massachusetts 州の示方に據ると仕上厚を 65～75mm とし，38～64

mm の主骨材を輾壓しつゝ之に 29～38mm 碎石を加へて固め，タール 8.5ℓ/m² 及 18mm 碎石を撒布輾壓し表面の空隙を填め遊離碎石を除去し，タール 2ℓ/m² 及 12mm 碎石を撒布輾壓し，更にタール 1ℓ/m², 12mm 碎石を撒布し輾壓封緘する．タールは粘度（50°C）105～160 秒或は 80～140 秒，蒸發殘滓軟化點前者 70°C 後者 65°C の二種を用ひ，80～120°C に加熱し，2.0～5.5 氣壓にて撒布する．

英國交通省工法大要　仕上厚を一層式にては 63.5～76.2mm（輕交通に限り特に 50.8 mm），二層式にては 102～114mm の二種に別け，一層式にては 63.5mm 級及 31.7～63.5 mm の二種を混交せるものを主骨材とし，輾壓後 204°C（400°F）に加熱せる砂と 149°C（300°F）に加熱せるピツチとを 1:1 の割合に混合せるものを撒布し，9.5～19.1mm 碎石を撒布しつゝ輾壓する．仕上後の骨材粒度は 63.5mm 級のもの最小 60%，31.7～63.5mm 級 35%，9.5～19.1mm 級 5% となるを標準とする．タール使用量は厚さに據り異り厚さ 50.8 mm には 6.8ℓ/m²，厚さ 63.5mm には 8.2ℓ/m²，厚さ 76.2mm には 10.88ℓ/m² とする．

二層式にては下層には 50.8～76.2mm の主骨材を用ひ表面以下 12.7mm まで上記タールグラウトを注入輾壓し，上層には 38.1mm 級主骨材を用ひ，タールグラウト注入後 9.5～19.1mm 碎石を撒布輾壓する．ピツチ使用總量は厚さ 102mm に對し 17.65ℓ/m²，厚さ 114mm には 19.0ℓ/m² である．ピツチは 25°C の針度 70 度を標準とする．

獨逸自動車道路研究會案大要　25～65mm 碎石を厚さ 7～10cm に敷均し輾壓し，若し主骨材が主として 45～55mm 碎石のみより成るときは輾壓中 10～15mm 碎石を撒布し固結せしめた後タールを撒布し，主骨材表面空隙を填充するに適する大さの細粒碎石を撒布輾壓し，遊離せるものを除去し，タール及細粒碎石を用ひ一層又は二層に封緘する．タール使用量は下層 3.0～3.5kg/m²，以後の各層 2.0～2.5kg/m² とし總量は仕上厚 1cm に就き 1kg/m² を標準とし，完工後間もなく更に一回封緘するを可とする．常溫式も加熱式も同樣の工法とし，タールは二號タール（30°C の粘度 20～100 秒），アントラセン油タール 60/40（30°C の粘度 20～70 秒）又はアントラセン油タール 65/35（40°C の粘度 15～40 秒）のものを可とする．

ザクセン國工法大要　40～60mm 碎石 62%，25～40mm 碎石 15% を順次撒布輾壓し，タールピツチ 50%，アントラセン油 50% を混合せる一號タールを撒布し直にタールピツチ 75% アントラセン油 25% を混合せる二號タールを撒布し其上に 5～25 mm 碎石を 12% 撒布輾壓し，遊離碎石を除去せる後一號タールを塗布し碎石屑と砂とを 11% 撒布輾壓して交通に開放する．タール使用總量は 9kg/m² とする．

Hentrich 氏提案大要　主骨材 35～55mm 碎石を 10～12cm 厚に敷均し 25～35mm 及 12～25mm 碎石を撒布しつゝ輾壓して 8～9cm 厚に固結せしめ，厚さ 1cm につき 1.5

kg/m² のタールを撒布し 5～12mm 碎石を厚さ 1.5～2.0cm 撒布輾壓し，更にタール 2 kg/m²，5～12mm 碎石 0.5～0.6m³/100m² を撒布輾壓し一旦交通に開放せる後再びタール 0.7～1.0kg/m² と 5～15mm 碎石 0.60～0.75m³/100m² とを用ひて封緘する．タールは英國標準二號とする．

Reiner 氏提案大要 基礎面上に滲くタールを塗布し，35～55mm 碎石を厚さ約 12cm に敷均し 12～25mm 碎石を撒布しつゝ輾壓して 9cm の固結層となし，厚さ 1cm に就き 1.0～1.5kg/m² の割にタールを撒布し 8～12mm 碎石を 1.5～2.0cm の厚さに撒布輾壓し，更にタール 2kg/m²，3～5mm 碎石屑 5*l*/m² を用ひて封緘し交通開始後 1～2 ケ月して再び封緘する．タールはアントラセン油タール 60/40（Hutchinson 粘度 20°C にて 20～70 秒，稠度計 30°C にて 20～70 秒）とする．

瑞西國工法大要 40～60mm 主骨材碎石を厚さ 10～12cm に敷均し其約 10% の 15～30 mm 碎石を撒布しつつ輾壓して厚さ 9cm とし，タール 2kg/m² を撒布し直に 5～13mm の硬碎石を厚さ 1.5cm に撒布輾壓し更にタール又は軟質石油アスハルト及 5～10mm 硬碎

第 2 表 タール透入マ

番號	名稱	仕上厚 (mm)	碎石寸法 (mm) 粗粒	中粒 輾壓中	中粒 タール透入後	細粒
1	Massachusetts州	65～75	38～64	29～38	18	12
2	英國交通省 一層式	63.5～76.2	63.5 級 60% 31.7～63.5 のもの35%	—	—	9.5～19.1 5%
	英國交通省 二層式	102～114	下層50.8～76.2 上層38.1 級	—	—	9.5～19.1[4]
3	獨逸自動車道路研究會	70～100	25～65 45～55	10～15	寸法を規定せず	寸法を規定せず
4	Sachsen 國	—	40～60 62% 25～40 15%	—	5～25 12%	碎石屑及砂 11%
5	Hentrich 氏案	90～100	35～55	25～35 12～25	5～12	5～12
6	Reiner 氏案	90	35～55 厚 120	12～25	8～12 厚15～20	3～5 5*l*/m²
7	瑞西國	90	40～60 厚100～120	15～30 主骨材の約10%	5～13 厚 15	5～10
8	內務省土木局	50 80	50 級 80 級	20級 15*l*/m² 20級 30*l*/m²	20 級 15*l*/m² 20 級 20*l*/m²	15級及No. 10～No.20 5*l*/m² 同 上

石を撒布輾壓する.

內務省土木局示方大要　第一回瀝青材透入前の輾壓中 20mm 級を厚さ 5cm には 1.5 $m^3/100m^2$, 厚さ 8cm には $3m^3/100m^2$ を撒布する外全然アスハルト透入工法に準ずる.

佛國に於ては特に公定の工法なく主として範を英國の示方に取る. 以上現行の主要工法を一括すれば第2表の如くである.

以上を通觀するに, 層の厚さは 50～114mm に亘り之を限定せるものと交通其他の環境條件に據り之を加減するものとの二種あり, 前者は 90mm とするもの多く, 後者は主骨材の層を一層とするものと二層にするものとあり; 一層の場合には 50～100mm, 二層の場合は 102～114mm の範圍内にある.

骨材寸法は, 主骨材の外1種を用ひるもの, 2種又は3種を併用するもの等あり, 主骨材寸法は其最大を層厚と等しくするもの, 層厚の約 1/2 を標準とするものとあり, 中粒楔入材は其最大を主骨材寸法と等しくするもの, 特に之より遙に小なるもの又は單に主骨材表面空隙填充に適當なるものと抽象的に規定するのみにて數字を示さゞるもの等がある.

カダム表層工法大綱比較

タール使用量 (l/m^2)				タール性質 粘度 (秒)	摘要
第1回	第2回	第3回	計		
8.5	2	1	11.5	50°C 105～160[1] 80～140[2]	蒸發殘滓 (1) 70 軟化點 (2) 65
8.20～10.88[3]	—	—	8.20～10.88	25°C の針度 70 度[3]	3) 1:1 の比にて熱砂とのグラウトとして透入
17.65～19.00	—	—	17.65～19.00		4)上層にのみ使用
3.0～3.5	2.0～2.5	2.0～2.5	7.0～8.5[5]	30°C にて20～100 又は 40°C にて15～40	5) 更に1回追加する
アントラセン油タール50/50及75/25	アントラセン油タール50/50のみ	—	9.0	ピッチ50アントラセン油50のもの及75/25のもの	
厚さ 1cm につき 1.5 とし 8～9cm 厚分即ち 12～13.5	2	0.7～1.0	14.7～16.7	25°C Hutchinson 40～125[6]	6) 標準稠度計 30°C の粘度と略同數値
厚さ 1cm につき 1～1.5, 9～13.5	2	1.0	12～16.5	30°C 20～70[7]	7) アントラセン油タール60/40
2	タール又は軟質アスハルト	—	規定なし	規定なし	
4	2	2	8	25°C Hutchinson 40～130	
5	3	2	10	同上	

主骨材轢壓中，中粒嵌入材を撒布するものと，せざるものと2種あるが，純タールを透入せしめる場合には撒布するを普通とする．

結合材に純タールを用ひるもの，タールに砂を混合せるもの及粘度異なる2種のタールを併用するもの，又は軟質アスハルトを混用又は併用するもの等がある．使用總量は8～19 l/m² (厚さ 1cm につき 0.85～1.77 l/m²)，第1回撒布量は厚さ 1cm につき 0.22～1.50 l/m²，撒布回數は 1～4 回である．タール粘度は Hutchinson 器 25°C にて 20～130 秒又は標準瑠度計 30°C にて 20～100 とするものが多い．

3. 瀝青乳劑透入マカダム表層工法大綱

現今透入法に用ひられる瀝青乳劑にはアスハルト系とタール系との2種類あるが施行法は瀝青の種別如何に依らないから別に區別する必要はない．又透入の程度に依つて半透法及全透法の2種に區別することもあるが玆では所謂全透法のみを採る．現行工法中公定のものは極めて少數であるから經驗ある乳劑舖裝專業者の示方をも併せて其大要を摘記すれば次の如くである．

英國標準規格大要 仕上厚を 51～102mm とし 76mm 以上は二層仕上とする，主骨材は混合粒度のものを用ひ次表を標準とし，輾壓中必要に應じ 12.7mm 又は 19.1mm 碎石を撒布し，

層厚(mm)	寸法(mm)	38.1	25.4	12.7～19.1	層厚(mm)	寸法(mm)	50.8	38.1	19.1
51	%	60	30	10	64～76	%	60	30	10

次表に準じて乳劑を撒布し引き續き 12.7mm 級碎石を撒布輾壓する．

層厚 (mm)	51	64	76
乳劑透入量 (l/m²)	5.4～8.1	6.8～9.5	8.1～10.1

次に地況に據り特に避く可き場合の外通常次表に準じて封緘する．

目潰碎石寸法 (mm)	9.5	12.7
乳劑撒布量 (l/m²)	0.9～1.4	1.1～1.8
碎石1噸を用ひて封緘する面積	100～150	80～120

更に2，3ヶ月を經て乳劑 1.4 l/m² 及 19.1mm 碎石を用ひ封緘する．

二層仕上の場合は下層は上層より遲くせず乳劑撒布後目潰碎石を撒布しない．

某乳劑舖裝業者示方大要 仕上厚を通常 5～10cm とし，主骨材の最大寸法を厚さと略等しくし最小寸法を半より稍大とする，(例へば厚さ 50mm には 50～30mm，厚さ 75mm には 80～40mm)，主骨材を仕上厚と等厚に敷均し 3～12mm 碎石 10 l/m² を撒布しつゝ輾壓して固結せしめたる後次表に準じて乳劑及目潰碎石等を四回に亘り撒布し，乳劑硬化を待ちて輾壓する．第1回撒布量を第2回以後よりも多量に用ひざるを特徴とする．

仕上厚 (mm)	撒布量 (l/m²)							
	乳劑	碎石	乳劑	碎石	乳劑	碎石	乳劑	荒目砂
50	2.3	12	2.3	10	2.3	5	1.1	5
75	2.5	15	3.0	10	3.0	5	1.5	6

Pennsylvania 州一示方大要　31.7～88.9mm 碎石を厚さ 102mm に敷均し 12 噸 3 輪ローラーにて輾壓し，12.7mm 碎石 16.3kg/m² を撒布して表面下 25.4mm 以下の部分の空隙を填充し，乳劑 4.53 l/m² を 1.40kg/cm² の壓力にて撒布し，直に 19.1mm 碎石 13.5kg/m² を撒布輾壓し，再び乳劑 4.53 l/m² と 12.7mm 碎石とを撒布輾壓し，更に乳劑 2.26l/m² と碎石とを撒布輾壓して封緘する．

Reiner 氏提案大要　2 種乃至 3 種の寸法を混交せる碎石を 10 cm 厚に敷均し充分撒水しつゝ 12 噸ローラーにて輾壓し厚さ 75mm に固結せしめ，乳劑 10kg/m² と 10～20 mm 碎石とを撒布し 10 噸以下のローラーにて輾壓し，一日後乳劑 1.5kg/m² と 10～20 mm 碎石とを撒布して輕く輾壓して封緘し，殊其の表面に 3～20mm の碎石屑を撒布被覆して交通に開放する．

Neumann 氏提案大要　在來路面上に洗砂を 3～4cm 厚に敷均した上に 25～60mm の混合粒度の碎石を厚さ 8～14cm に敷均し撒水輾壓し（10～16 噸ローラー）表面下 3～4 cm 迄下敷の砂を昇上せしめ，10～25mm 碎石を撒布し輕く撒水しつゝ輾壓し乳劑 4～5kg /m² と 10～15mm 碎石とを撒布して輕く輾壓し，翌日再び充分輾壓し更に 2 日後乳劑 1～1.5 kg/m² と 15～20mm 碎石とを撒布輾壓して封緘する．

佛國一示方の大要　整形清洗せる在來路面上に乳劑 1l/m² を撒布し 20～40mm 碎石を厚さ 5cm に敷均し數回輾壓し，10～15mm 碎石を撒布輾壓し乳劑 5.5l/m² 及 10～15 mm 碎石を撒布輾壓し 1 日交通に開放せる後清掃し乳劑 2l/m²，10～15mm 碎石 10l/m² を以て封緘し，數日交通を許したる後乳劑 1.5l/m²，荒目砂 5l/m² を撒布する．輾壓程度は主骨材 1m³ に對し 10 噸 km を標準とする．

佛國某乳劑鋪裝會社示方大要　10～60mm 碎石を敷均し適當なる目潰碎石を撒布且撒水しつゝ 10～12 噸ローラーにて約 20 回輾壓し乳劑 3l/m² を撒布し，2, 3 日を經て再び乳劑 3l/m² を撒布し 10～20mm 碎石 6～10l/m² を撒布して 2～3 回輾壓し翌日約 30 回輾壓せる後交通を許し，2～3 日後清掃して乳劑約 2l/m²，5～10mm 碎石 4～6l/m² を用ひて封緘する．主骨材の充分堅硬ならざる場合は其寸法を 20～60 mm とし目潰材を撒布せずして輾壓し乳劑は一度に 6l/m² を撒布する外上述の工法に從ふ．乳劑の性質に據つては透入には水分勝きものを用ひ封緘には水 25% 追加し稀釋して使用するものがある．

內務省土木局示方大要　仕上厚を 5cm 及 8cm の二樣に分ち，厚さと同級の主骨材を用ひ輾壓中 20mm 級碎石を 15 又は 30l/m² 撒布し乳劑 4l/m² 又は 5l/m² と 20mm 級

砕石 15ℓ/m² 又 20ℓ/m² を撒布輾壓し，次で乳劑 2ℓ/m² 又は 3ℓ/m², 15mm 級砕石 1ℓ/m² を撒布輾壓し更に乳劑 2ℓ/m², 荒目砂 5ℓ/m² を撒布輾壓する．乳劑は原料アスハルト針度 70～200 度のものを用ひ比粘度（エングラー 25°C）2～8 度とする．

以上の工法を一括すれば第3表の如くである．

第 3 表 瀝青乳劑透入マ

番號	名稱	仕上厚 (mm)	砕石寸法 (mm) 粗粒	中粒 透入前輾壓中	中粒 透入後	細粒
1	英國標準規格	51～102	12.7～38.1 1) 19.1～50.8 2)	12.7～19.1 〃	12.7 〃	9.5～12.7
2	某乳劑鋪裝案者示方	50～100	30～50 3) 40～80 4)	3～12 〃	3～18 〃	3～12, 3～6及荒目砂
3	Pennsylvania 州	102	31.7～88.9	12.7	19·1	12.7
4	Reiner 氏案	75	2～3種の混合粒度	—	10～20	3～20
5	Neumann 氏案	50～100	25～60	10～25	15～20	10～15
6	佛國示方	50	20～40	10～15	10～15	荒目砂
7	佛國某乳劑鋪裝會社	—	10～60 8)	使用するも 9) 寸法規定なし	10～20	5～10
8	內務省土木局	50 80	50mm 級 80mm 級	20mm 級 〃	20 mm級 〃	15 mm級及砂 同上

卽ち仕上厚は 50～102mm とし厚さ 75mm 以上を要するときは二層仕上とすべしと指定するものと 102mm まで一層仕上とするものとあるも 80mm 以下は多く一層とする．

骨材寸法は主骨材の外2種以上を用ひるもの多く，主骨材は單一粒度とするもの少く多くは混合粒度とし特に各粒度の比率の標準を定めるものもある．其最大寸法は仕上厚と等しきものと之より小なるものとある．乳劑透入前の主骨材輾壓中特に混合粒度にして必要なき場合の外多くは填充材を撒布する．填充材には特に透入後使用の砕石より小粒のものを用ひるものがある．

乳劑透入前の輾壓中特に撒水を指定するものと別に指定せざるものとがある．又乳劑撒布後直に充分輾壓するものと當日は輕く輾壓し1日經過して乳劑分解せるを待ち充分輾壓するものとがある．

乳劑撒布量は 5～13.3ℓ/m² とし2回又は3回に分つ．層厚 1cm 當り使用量は 2.6～1.0 ℓ/m² にして第1回使用量を特に多量とせざるものもある．2回以後の撒布を特に前回撒布乳劑の分解又は交通開放後とするものがある．

以上3種の結合材に亘つて其工法を要約すれば次の如くである．

1) **仕上厚**　は何れも 50～102mm の範圍内にあり唯英國標準規格が二層式タールマカダムに於て最大 114mm とするのみである．主骨材の層は通常一層とし英國標準規格に於てはタールマカダムに於て 102mm 以上，乳劑マカダムに於て 76mm 以上を二層と規定せるのみである．

カダム裝層工法大綱比較

乳劑使用量 (l/m^2)				乳劑性質（比粘度）	摘要
第1回	第2回	第3回	計		
5.4～10.1	0.9～1.8	1.4	7.7～13.3	エングラー20°C 2～8	1) 1層の厚さ 51mm のとき
〃	〃	〃			2) 1層の厚さ 64～76mm の時
2.3	2.3	1.1	5.7	エングラー25°C ≫2.00	3) 本行は厚さ 50mm のとき
2.5	3.0	1.5	7.0		4) 本行は厚さ 75mm のとき
4.53	4.53	2.26	11.32	—	
10	1.5 [5]	—	11.5	—	5) 第1回撒布1日後最初の輾壓中撒水する
4～5 [6]	1～1.5	—	5～6.5	—	6) 第1回撒布當日は輕く輾壓し翌日充分輾壓する．最初の輾壓中撒水する
1.0 [7] 5.5	2	1.5	10	—	7) プライマーとして使用
3+3 [10]	2	—	8	—	8) 軟質のときは 20～60
					9) 軟主骨材のときは使用せず
4	2	2	8	エングラー25°C 2～8	10) 2, 3 日を徑て2回に撒布但し主骨材軟質のときは1回に用ふ
5	3	2	10	同上	

2) **主骨材**　結合材透入前の主骨材の粒度は結合材の粘度に應じて異るが其の最大寸法は仕上厚と略等しくするものと敷均し厚の約 1/2 程度とするものとの二樣に大別し得る．軟質のものに對しては特に寸法を大ならしめるものがある．

3) **副骨材**　主骨材の間隙に挾入し或は之を填充し又は表面を封緘するに用ひる比較的細粒の副骨材の種類は1種乃至4種に亘り其粒度又は撒布量も極めて多樣であるが結合材透入前に撒布するものは透入後の撒布材に比し粒度小ならざるを普通とするが乳劑マカダムに於ては却つて小なるものを推奬せるものがある．

4) **結合材の撒布**　は2回乃至4回とし乳劑の場合には主骨材を敷均す前下塗を規定するものがある．撒布量は $10l/m^2$ 前後を通例とし結合材の種類に依つて著しい相違はないがタールは比較的多量に用ひられ乳劑は少量である．一般に主骨材敷均し後第1回の撒布量は透入量として比較的多量を用ひるが，乳劑に限り却つて第2回撒布量を多くするものがある．又乳劑の場合には第1回撒布以後の輾壓及撒布に對し特に乳劑分解の時間を考慮するものがある．英國タールマカダム標準規格の如く結合材に細粒鑛物質材を混和するものもある．

III 試驗方法

1. 試驗概要

試驗機械は甲種道路試驗機[1]と稱し，環狀の試驗路面上に直徑約 1m，重量約 1.3 瓲內外の車輪 8 個を電力に依り平均徑 10m を以て各獨自の路線を廻轉走行せしめるものである．

前項記載の如く試驗を要する工種は極めて多數であるが，試驗路面狹小なる爲之等多數の工種を一時に網羅し得ないから本試驗に於ては先づ主としてアスハルトマカダムを採り基礎をコンクリート，碎石及砂利の 3 種に分ち，更にコンクリート基礎に於ては厚を 80, 65 及 50 mmの 3 種 8 區域，砂利基礎に於ては 80 及 65mm の 2 種 3 區域として厚，工法及材質に由る比較を行ひ，碎石基礎上に於ては厚さは總て 80mm としアスハルト，タール及アスハルト乳劑の 3 種の結合材の比較を行ひ別にコンクリート鋪裝 2 種を造り前記各種との比較に資するに止めた．

試驗は最初空氣入ゴム輪帶にて速度約 1 哩/時 とし次に速度を 3 哩/時 に增大し更に輪帶を固形ゴム輪帶に代へ最後には空氣入ゴム，固形ゴム及鐵輪帶の 3 種を混用した．

2. 鋪裝の構造及種別

試驗路面は內外 2 列の鐵筋コンクリート側壁內に幅員 76.2cm，中心直徑 10.06m，延長 31.6m，面積 24.08m² の環狀をなし，砂利路床上に造られた所定の基礎上に鋪設せられた．

路床 は單位重量 1.659kg/m³，粒度 40～25mm 18.8%，25～20mm 16.4%，20～5mm 64.8% の乾燥砂利を厚さ約 1m 填充して木蛸（重量 11.85kg，底面積 417cm²）及鐵製搗固器（重量 11kg，底面積 110cm²）にて搗固めたるものにして直徑 20cm の圓形加壓面に於て第 1 圖の如き沈下曲線を示すものである．

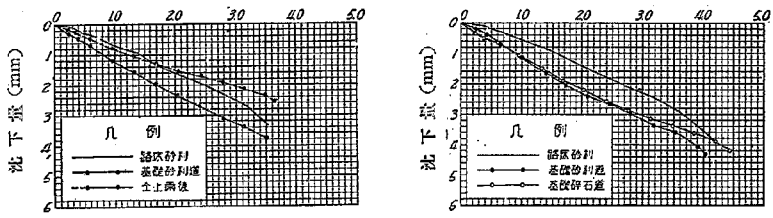
混凝土基礎 は前記路床上に配合 1:2.4:6.4（容積比），水比 75%（重量）を以て表層の厚 8, 6.5, 5cm に應じ夫々 20, 21.5 及 23cm 厚に造り本試驗の荷重の範圍內にては其變形量を無視し得るものである．

基礎砂利道 は通常の在來砂利道を標準とし，總厚は表層の厚さ 8, 6.5cm に應じ 20cm 又は 21.5cm とし施工は三層に分ち下二層は各 7.5cm，上層は 5 又は 6.5cm とした．各層は前述の路床用の砂利に砂，赤土及水を加へて鐵板上にて混合し前記鐵製搗固器を以て一層每に充分搗固め所定の厚に仕上げた．施工完了直後に於ける含水率は 11.8%，粒度は次表の如く，

1) 本所報告第 13 號參照

篩寸法(mm)	40～20	20～5	5～No. 200	No. 200以下	計
%	23.8	43.7	21.1	11.4	100.00

直徑 20cm の圓形加壓面に由る沈下曲線は第 1 圖に示すが如く地床示數は平均 8.70kg/cm³ である.

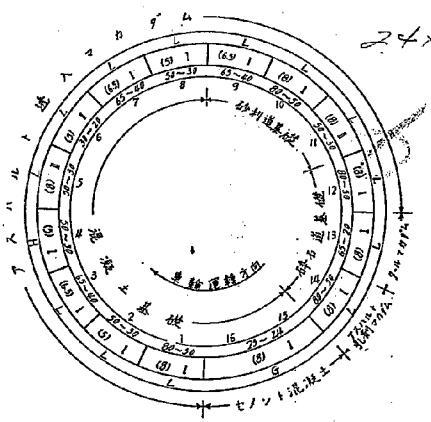


(a) 基礎砂利道　　(b) 基礎碎石道

第 1 圖　試驗路面基礎沈下曲線

基礎碎石道　は砂利路床上に前述同樣に砂利道厚 20cm を造り其上に厚 15cm の水締碎石道を造つた. 施工は各 7.5cm の 2 層に分ち, 主骨材は葛生石灰岩にして總て 100mm 以下とし 60mm 殘留 86%, 60mm 通過 14%, 單位重量 1,535kg/m³, 填充材は同質のものにして 20～5mm 6%, 5mm 以下 40%, 單位重量 1,428kg/m³ である. 先づ主骨材を 150kg/m² の割に敷均し填充材を 45kg/m² の割に撒布掃き込み搗き固め, 約 2.7 l/m² の割に撒水搗固めて下層とし其上に略同樣にして上層を造つた. 沈下曲線は第 1 圖に示すが如く, 地床示數は平均 9.30kg/cm³ である.

表層概說　表層は全面積を 16 等分し, 各區中心延長 1.975m, 面積約 1.50 m² にして第 2 圖の如く配置し, 8 月 4 日より 15 日に至る間に施工した. 側壁及混凝土基礎は次回實驗の都合上タールペーパーを以て被覆絶緣した. 斯種工事に對し最も重要なる因子であるローラーによる輾壓は機械の都合上實際の場合と同樣の工程を踏むを得ず鐵製搗固器及木槌に由る搗固めを以つて



第 2 圖　試驗路面配置

G…砂利, *L*…葛生石灰岩, *H*…粕尾安山岩, ( )內數字は表層厚(cm), I, II 數字は表層數, 30～50 は主骨材粒度(mm)

代用した．工事施行中の溫度は 29°C 乃至 32°C である．

之等 16 種の構造概要を一括すれば第4表に示すが如く，各工種の施工方法は次項に詳說するが如くである．

第 4 表 試 驗 路

1. 骨材名稱 L は葛生石灰岩，H は初狩安山岩，N は根府
2. 主骨材空隙率は瀝青透入前の粒度に就き標準方法に據つ骨材を一回撒布せるもの
3. 骨材使用量及細骨材使用量は全使用量中より對減用瀝青

種別	基礎	番號	表層厚 (cm)	表層層數	主骨材 名稱	主骨材 粒度 (mm)	主骨材 使用量 (kg/m²)	主骨材 空隙率 (%)	瀝青透入單位量 層厚1cmにつき (kg/m²)	瀝青透入單位量 全層厚 (kg/m²)	細骨材撒(瀝青透入) 骨材寸法 (mm)
アスハルト透入マカダム	混凝土 (厚 20cm～23cm)	1	8	1	L	80～50	118	47.6	1.53	12.2	20～15 15～ 5
		2	5	1	L	50～30	75	45.6	2.44	12.2	20～10 10～ 5
		3	6.5	1	L	65～40	94	45.5	1.85	12.0	20～10 10～ 5
		4	5	1	H	50～30	62	45.6	2.40	12.0	H20～10 10～ 5
		5	8	2	L	50～30	116	45.6	1.71	13.7	N20～10 1) L20～10 2) L10～ 5 2)
		6	5	2	L	30～20	95	47.4	2.55	12.7	15～10 1) 10～ 5
		7	6.5	1	L	65～40	95	45.5	1.56	10.1	20～10 10～ 5
		8	5	1	L	50～30	76	45.6	1.54	7.7	20～10 10～ 5
	砂利道 (厚20cm)	9	6.5	1	L	65～40	100	45.5	1.54	10.0	20～10 10～ 5
		10	8	1	L	80～50	117	47.6	1.46	11.7	N20～15 15～ 5
		11	8	2	L	50～30	125	45.6	1.64	13.1	20～10 2) 10～ 5 2)
	碎石道 (厚15cm)	12	8	1	L	80～50	105	47.6	1.53	12.2	N20～15 15～ 5
タール透入マカダム	同上	13	8	1	L	65～35 30～20	119	45.7	1.73	13.8	15～ 5
タール混合マカダム	同上	13/1	8	1	L	〃	〃	〃	〃	〃	15～10
		13/2	8	2	L	〃	〃	〃	〃	〃	
アスハルト乳劑マカダム	同上	14	8	1	L	80～50 1)	112	42.9	1.53	12.2	N20～15 1) L20～15 15～ 5
セメント混凝土	混凝土 (厚20cm)	15	8	1	碎石	25～2.4	—	—	—	—	—
		16	8	1	割砂利	同上	—	—	—	—	—

表層 No.1 は厚さ 20cm 混凝土を基礎とし乾燥せる石灰岩碎石 80～50mm を 118 kg/m² の割に散均し輕い型木を以て打均し，溫度 170°C に熔融せるアスハルトを厚さ 1cm 面積 1m² に就き 1.5kg を標準とし廣口如露（容量約 12ℓ，口徑寸法幅 18cm，間隙 7mm）

面　表　層　種　別

川安山岩
て測定せるものにして，アスハルト乳劑マカダムに限り細

材撒布前遊離せるものを除却せる量を控除せるもの

布量直後）	封緘用材料量		細骨材使用量		骨材	瀝青材使用量			溫度（°C）		摘要
撒布量 (kg/m²)	瀝青材 (ℓ/m²)	細骨材 (10～5 mm) (kg/m²)	1m² 使用量 (kg/m²)	主骨材に對する (%)	使用量 (kg/m²)	單位面積全量 (kg/m²)	骨材全重量に對する (%)	主骨材空隙に對する (%)	使用時の瀝青熔融	施行時の気溫	
28.1 5.7	4.23	17.8	46.0	39.0	164.0	16.43	10.00	43.2	170	30.5 31.0	
34.4 4.7	3.26	16.8	48.5	64.7	123.5	15.46	12.56	68.2	175	31.0	
21.5 4.8	2.97	14.6	37.8	45.3	131.8	14.97	11.37	50.6	149	30.0	
21.4 4.8	3.50	H 15.9	37.4	60.3	99.4	15.50	15.60	68.0	158	32.0	
18.7 19.0 3.8	3.12	11.7	49.2	42.3	165.2	16.82	10.19	46.1	180～170	29.0	1) 下層 2) 上層
16.8 3.3	3.10	13.3	29.4	30.9	124.4	15.80	12.70	66.8	180～173	30.5 30.0	1) 下層には用ひず
24.6 3.8	3.41	14.7	40.3	42.4	135.3	13.51	10.00	45.7	165	29.5	
25.0 4.8	3.24	14.8	38.2	50.3	114.2	10.94	9.58	48.0	173	29.5	
24.7 3.8	3.20	15.3	42.2	42.2	142.2	13.20	9.28	44.6	163	30.0	
30.4 4.8	3.17	17.8	51.6	44.1	168.6	14.87	8.82	39.0	175	29.5	
23.0 3.8	3.62	16.7	43.6	34.8	168.6	16.72	9.92	45.8	171 177	31.0 31.5	2) 上層にのみ用ふ
30.0 4.8	4.47	15.9	50.6	48.2	155.6	16.67	10.72	43.7	166	31.0	
22.6	2.70	14.5	37.2	31.3	156.2	16.50	10.56	45.2	120 124	30.0 30.5	
16.8	3.70	14.6	54.0	45.3	173.0	27.5	15.9	75.3	120	32	13 を改築
—	5.26	砂10.6	47.8	40.2	166.8	19.06	11.7	52.1	122	32.5	同　上
20.0 23.2 4.8	6.20	10.0	57.3	51.2	169.3	18.4	10.87	53.8	33	31	1) 乳劑透入前根府川安山岩 20～15mm を 20kg/m² 及水 3.5ℓ/m² を撒布す
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

を用ひて 12.2kg/m² の割に撒布し直に楔入用細粒石灰岩碎石 20～5mm を 33.8kg/m² の割に撒布し前掲鐵製搗固器を以て搗き固め（揚程 25cm 約 200 回/m² 卽ち一ケ所約 2 回）再び前述のアスハルトを亜板如露を以て 4.23kg/m² の割に溫度 176°C にて撒布し直に塡充用細粒石灰岩碎石 10～5mm を 17.8kg/m² の割に撒布し鐵製搗固器を以て一ケ所約 2 回の割に搗固めた．瀝青撒布時の氣溫は 30.5～31.0°C である．

表層 No. 2, No. 3, No. 4 はアスハルト透入量を No.1 同樣 12kg/m² を標準とし層厚及主骨材を異ならしめたのみで No.1 に準じて施工した．

表層 No. 5 は層厚 8cm を二層とし先づ 50～30mm 石灰岩碎石を 70.0kg/m² の割に敷均しアスハルト（180°C）6.7kg/m² の割に撒布し直に安山岩（根府川産）細粒碎石 20～10mm を 18.7kg/m² 撒布し其上に前記 50～30mm 碎石を 46kg/m² の割に敷均し型木上より重量約 24.4kg の木蛸を以て搗固めアスハルト（173°C）7.0kg/m², 石灰岩細粒碎石 20～10mm 19.0kg/m², 10～5mm 3.8kg/m² を撒布し鐵製搗固器を以て一ケ所平均 2 回搗き固めたる後略 No.1 同樣の方法に由る封緘工を施す．單位面積當りのアスハルト透入量は前同樣 12.0kg を標準としたが實際使用量は 13.7kg, 1cm 厚につき 1.71kg である．

表層 No. 6 は層厚 5cm を二層に分け 30～20mm の石灰岩碎石を用ひて畧ゞ No.5 に準じて施工した．アスハルトの單位面積透入量は前標準に據り 12.7kg を使用したから厚さ 1cm の透入量は 2.55kg にして最大である．

表層 No. 7 は厚さ 1cm に對するアスハルト透入量を No.1 同樣 1.5kg/m²/cm を標準とし全厚 6.5cm に對し 10.1kg/m² を撒布し No.3 に準じ施工した．

表層 No. 8 は厚さ 1cm に對するアスハルト透入量を No.1 同樣 1.5kg/m²/cm を標準とし全厚 5cm に對し 7.7kg/m² を使用し No.2 と同樣施行した．

表層 No. 9, No. 10, No. 11 は基礎を砂利道としたのみで他は夫々 No.7, No.1, 及 No.5 に畧準じて施工した．

表層 No. 12 は基礎を碎石道となしたる外 No.1 に準じて施工した．

表層 No. 13 はタール透入マカダムとし碎石基礎上に乾燥せる 65～35mm 石灰岩碎石を 88.6kg/m² 敷均し型木にて整形しタール（120°C）を 8.6kg/m² の割に氣溫 30°C にて撒布し直に乾燥せる 30～20mm 碎石を 30kg/m² 撒布し型木にて搗均しタール（120.4°C）を 5.2kg/m², 15～5mm 碎石を 22.6kg/m² の割合に撒布し直に鐵製手動ローラーを以て 2 回通り輾壓し更にタール 2.7kg/m², 10～5mm 碎石 14.5kg/m² を撒布し前同樣輾壓したる後鐵製搗固器を以て 2 回通り搗固め以後 4 日間每日朝夕各 1 回通り搗固めた．然るに本工種は後述するが如く試驗機運轉開始の直後破損したから此の部分を No.13/1,

No.13/2 に2分して施工し直した.

表層 No. 13/1 No.13に使用した材料を 90°C に加熱攪拌して粗, 細混合せしめて敷均し型木にて叩き均し 15～10mm 石灰岩碎石を 16.8kg/m² の割に撒布し鐵製搗固器を以て輕く2回通り搗固めタール (120°C) を氣溫 32°C にて 13.7kg/m² の割に撒布し直に 10～5mm 石灰岩碎石 14.6kg/m² 撒布し手動ローラーを以て2回通り輾壓し鐵製搗固器を以て輕く2回通り搗固めた.

表層 No. 13/2 No.13 に使用した材料を 115°C に加熱して細, 粗2種に大別し氣溫 32°C にて先づ粗粒材のみを敷均し型木にて叩き固め次に細粒材を撒布し手動ローラー及型木で輾壓整形しタール (122°C) 5.26kg/m², 乾砂 10.6kg/m² の割に撒布輾壓し2回通り輕く搗固めた. No.13/1 及 No.13/2 は施工後5日間朝夕各1回通り搗固めた.

表層 No. 14 はアスハルト乳劑マカダムにして碎石基礎上に 80～50mm 石灰岩碎石を 112kg/m² の割に敷均し型木で叩き均した後 2.2ℓ/m² の割に撒水し 20～15mm 石灰岩碎石 20kg/m² の割に撒布し型木で叩き固め 1.25ℓ/m² の割に撒水しアスハルト乳劑 (33°C) を氣溫 31°C にて 12.2kg/m² の割に撒布し根府川安山岩碎石 20～15mm を 23.2kg/m², 同碎石 15～5mm を 4.8kg/m² の割に撒布し型木で叩き均し再びアスハルト乳劑を 6.20 kg/m² の割に撒布し其の上に同碎石 10～5mm を 10kg/m² の割に撒布し 2 回通り輾壓し翌日より4日間毎日朝夕各1回通り搗固めた.

表層 No. 15 は混凝土鋪裝にして前述の厚さ 20cm 基礎混凝土施工に引き續き施工せるもので厚さ 8cm, 配合 1:1.8:3.2 とし粗骨材には 25～2.4mm 安山岩 (石和産複輝石) を用ひた. 其強度試驗結果は IV 第 14 表に示す通りである.

表層 No. 16 も混凝土鋪裝にして粗骨材に 25～2.4mm の割砂利を使用せる外全く No.15 に準じて施工せるもので其強度は第 14 表に示す通りである.

3. 車　　輪

試驗に使用した車輪は其構造上全部彈下荷重 (Unsprung Weight) にして輪帶は空氣入ゴム, 固形ゴム及鐵輪の3種とし之等を單用又は混用した. 之等の性質は第5表乃至第9表及第3圖乃至第6圖に示すが如くである.

ゴム輪帶は空氣入, 固形共に其標準許容荷重 (空氣入 385kg, 固形 590kg) に比し過大にして前者約 2.4～2.8 倍, 後者約 1.6～1.9 倍, 從つて 1cm 幅輪壓は構造令規程 (輪帶幅1寸につき 100 貫卽ち 125kg/cm) に比し遙に大きく前者 11～35%, 後者23～44% 增である. 本邦現在の自動車の彈下荷重は 350kg を超へるもの稀であるが本試驗荷重は略之に3倍する. 一般に路面に對する破壞力は車輪の單位荷重及彈下荷重に由る所最も大で

第5表 空氣入ゴム輪帶

車輪番號	輪帶寸法 直徑 (cm)	輪帶寸法 幅 (cm)	管氣壓 (kg/cm²)	荷重 (kg)	路面との接觸面 純面積 (cm²)	總接觸面 長 (cm)	總接觸面 幅 (cm)	總接觸面 面積 (cm²)	變形量 (cm)	壓力度 輪帶幅1cmに付き (kg/cm)	壓力度 (kg/m²) 純面積に付き	壓力度 (kg/m²) 總面積に付き
1	86.84	10.00	4.23	1,014.1	125.4	28.3	6.7	174.5	3.75	151.3	8.08	5.81
2	87.00	〃	〃	970.9	134.0	29.5	6.7	180.0	3.10	145.0	7.24	5.38
3	84.30	〃	〃	930.7	130.2	29.6	6.7	187.1	3.60	138.8	7.15	4.97
4	84.30	〃	〃	994.7	142.3	30.8	6.8	195.3	3.60	146.4	6.99	5.10
5	81.92	〃	〃	1,066.0	129.6	29.6	6.8	184.4	3.80	156.6	8.22	5.78
6	81.92	〃	〃	979.8	134.3	29.0	6.7	178.8	3.60	146.4	7.30	5.48
7	79.38	〃	3.52	952.6	124.9	33.0	6.0	187.0	4.50	158.8	7.62	5.10
8	79.38	〃	〃	1,002.5	131.2	32.3	6.0	183.4	4.60	168.5	7.63	5.46

第6表 固形ゴム輪帶

車輪番號	輪帶寸法 直徑 (cm)	輪帶寸法 幅 (cm)	荷重 (kg)	路面との接觸面 長 (cm)	路面との接觸面 幅 (cm)	路面との接觸面 面積 (cm²)	變形量 (cm)	壓力度 輪帶幅1cmに付き (kg/cm)	壓力度 接觸面積1cm²に付き (kg/cm²)
1	89.85	8.75	1,043.3	16.7	5.8	81.0	1.20	180.0	12.86
2	89.85	〃	997.9	19.0	6.3	98.3	1.10	158.5	10.15
3	84.14	〃	952.3	17.5	6.2	78.7	1.08	153.5	12.10
4	84.77	〃	1,020.6	15.6	5.75	76.6	1.12	177.5	13.32
5	84.14	〃	1,111.3	17.0	6.4	81.2	1.20	173.6	13.69
6	78.11	〃	997.9	17.1	6.1	89.4	1.10	163.5	11.16
7	78.11	〃	988.8	16.0	5.8	82.5	1.08	170.5	12.00
8	78.11	〃	952.6	17.0	6.2	86.0	1.06	153.7	11.10

第7表 鐵 輪 帶

車輪番號	輪帶寸法 (cm) 直徑 外側	輪帶寸法 (cm) 直徑 內側	輪帶寸法 (cm) 幅	內外直徑の差 (mm) 計算上必要	內外直徑の差 (mm) 實際値	內外直徑の差 (mm) 誤差	荷重 (kg)	單位荷重 輪帶幅1cmに付き (kg/cm)
3	98.98	98.43	7.62	14.8	5.5	9.3	1,313.8	172.8
4	98.58	97.39	7.70	14.8	11.9	7.9	1,301.8	169.2
7	91.12	90.81	7.70	14.8	3.1	11.7	1,188.4	154.2
8	91.12	90.49	7.70	14.8	6.3	8.5	1,181.4	153.5

第 8 表　空氣入輪帶の荷重に由る變化

1. 變形量は荷重と變形量の關係圖より採りたるもの.
2. 接觸面寸法は最大部を採る.

輪帶種別	載荷番號	荷重 (kg)	路面との接觸面 純面積 (cm²)	總接觸面 長 (cm)	總接觸面 幅 (cm)	總接觸面 總面積 (cm²)	壓力度 (kg/cm²) 純面積に付き	壓力度 (kg/cm²) 總面積に付き	變形量 (mm)
No. 1 及 No. 2 管氣壓(4.23kg/cm²)	1	226.8	44.8	15.4	5.2	68.5	5.06	3.31	11.94
	2	453.6	76.4	20.5	6.4	110.5	5.94	4.11	19.05
	3	680.4	107.9	24.7	6.8	150.5	6.30	4.52	26.62
	4	907.2	130.5	28.3	6.9	179.5	6.95	5.05	33.70
	5	1,052.0	146.1	30.6	6.9	199.8	7.20	5.27	38.40
No. 5 及 No. 6 管氣壓(4.23kg/cm²)	1	226.8	40.4	15.0	4.1	53.4	5.62	4.25	11.94
	2	453.6	67.9	19.3	5.9	95.5	6.67	4.75	19.05
	3	680.4	106.9	24.0	6.8	141.8	6.35	4.80	26.62
	4	907.2	123.9	27.0	6.8	165.1	7.31	5.49	33.70
	5	1,066.0	148.4	29.5	7.0	189.2	7.18	5.63	39.00
No. 7 及 No. 8 管氣壓(3.52kg/cm²)	1	226.8	48.9	16.8	5.2	72.0	4.63	3.15	12.97
	2	453.6	96.1	22.1	6.2	120.8	4.72	3.76	22.03
	3	680.4	114.6	26.6	6.3	155.4	5.93	4.38	31.93
	4	907.2	136.1	30.2	6.3	178.9	6.67	5.07	41.67
	5	952.6	140.2	31.2	6.2	186.1	6.80	5.12	43.80

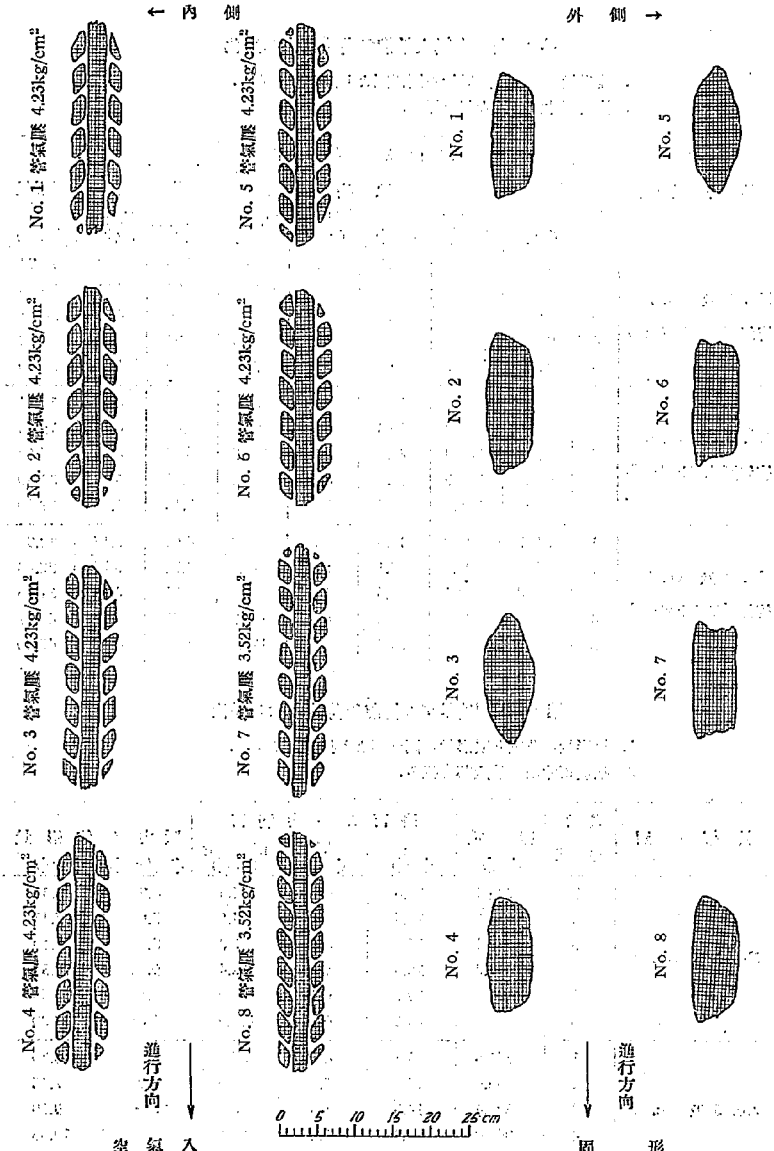
第 9 表　固形ゴム輪帶の荷重に由る變化

1. 變形量は荷重と變形量の關係圖より採りたるもの.
2. 接觸面寸法は最大部を採る.

輪帶種別	載荷番號	荷重 (kg)	路面との接觸面 長 (cm)	幅 (cm)	面積 (cm²)	壓力度 (kg/cm²)	變形量 (mm)
No. 1 及 No. 2	1	226.8	12.0	4.9	46.0	4.93	5.30
	2	453.6	14.5	5.5	64.6	7.02	7.45
	3	680.4	16.7	5.9	83.8	8.11	9.10
	4	907.2	18.0	6.3	92.4	9.82	10.38
	5	1,134.0	19.2	6.5	103.9	10.87	11.50
	6	1,340.0	20.0	6.7	113.0	11.85	13.20
No. 5 及 No. 6	1	226.8	11.2	4.7	36.4	6.23	5.30
	2	453.6	13.3	5.5	55.0	8.25	7.45
	3	680.4	14.8	5.8	68.1	10.00	9.10
	4	907.2	15.9	5.8	72.1	12.60	10.38
	5	1,134.0	16.9	5.9	84.7	13.40	11.50

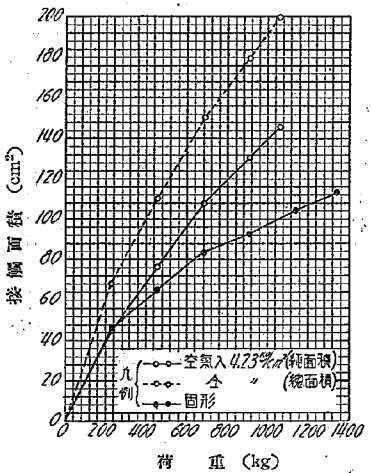
6.0×3.7=22.2

222

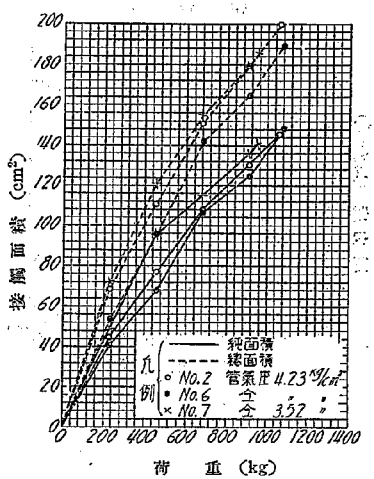


第3圖 ゴム輪帶接觸面

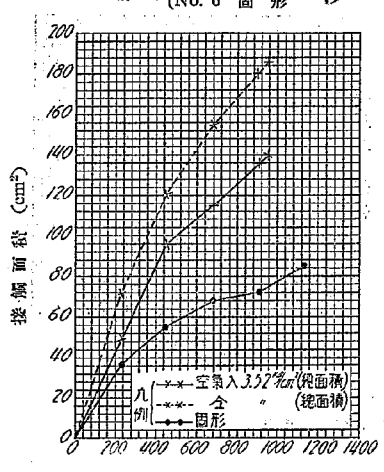
輪　帶　No. 2



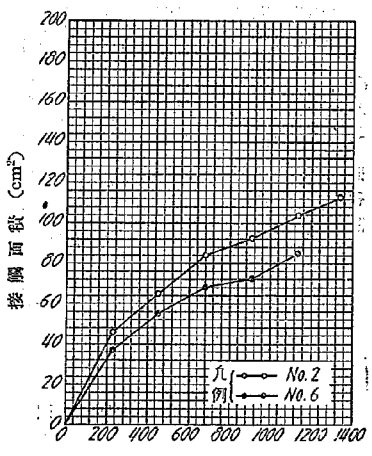
空　氣　入



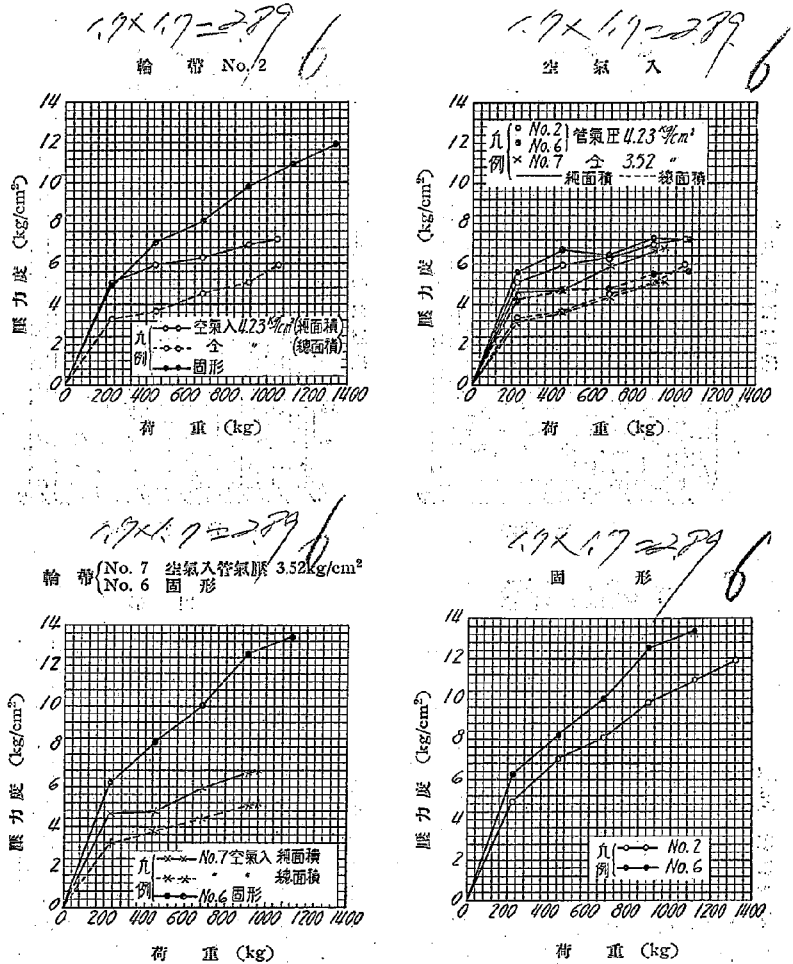
輪　帶 { No. 7 空氣入
No. 6 固　形



固　形



第 4 圖　輪帶の荷重と接觸面積



第 5 圖　輪帶の荷重と壓力度

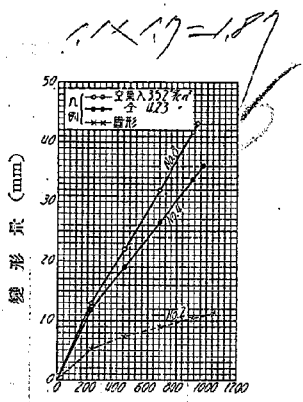
あるから本試驗の結果は單に此點より見るも通常の自動車輪の路面に對する場合に比し過酷なるは明である.

鐵輪帶は表記4輪のみを混用せしに止まるが輪帶形狀は路線の圓周なる弯圓堆形を成す

必要あるが實際は計算上の所要寸法と相違する爲全輪帶幅を以て路面に接觸せず從つて當初に於ける單位荷重は遙に表記の値より大である.

IV 材料の性質

本試験に使用せる材料は碎石4種，割砂利，アスハルト，タール，アスハルト乳劑，セメント各1種及砂利，土等にして其内試驗結果に直接の影響あるもの>性質は次の如くである．試驗方法は特記するもの>外本所標準方法に據つた.



第6圖 輪帶の荷重と變形量

碎石 はマカダム鋪裝の部には主として葛生石灰岩[1]（栃木縣葛生町山當産）を用ひ別に比較の爲め主骨材に初狩石英安山岩[1]（山梨縣北都留郡初狩村産），填充用細骨材に初狩安山岩及根府川輝石安山岩[1]（神奈川縣下足柄郡根府川村産）を併用した．セメント混凝土鋪裝に使用せる碎石は複輝石安山岩[1]（山梨縣東山梨郡岡部村石和産），割砂利は多摩川産[2]（東京府北多摩郡福生村地先）である．之等の性質は第10表に示すが如くである.

第10表 骨材石質試驗成績表

試料産地名稱 / 試驗項目	葛生 石灰岩	初狩 石英 安山岩	根府川 輝石 安山岩	石和 複輝石 安山岩	多摩川 割砂利	摘要
比重	2.80	2.49	2.60	2.73	2.67	
吸水率 (%)	0.30	4.6	1.4	0.7	0.25	
壓縮强さ (kg/cm²)	1,400	1,358	2,910	2,270	—	
磨損率 (%)	3.4	3.9	1.5	3.9	—	
同上 (%) (砂利試驗法による)	7.2	7.6	4.1	6.7[1]	4.8[1]	60~40mm 碎石 3kg, 鐵球 4 個使用 1) 5kg, 鐵球 5 個使用
硬度	16.6	14.8	18.7	16.0	—	
靱性	8	9	28	14	—	
締合力	45	475	17	9	—	

マカダム用主骨材の粒度及空隙率は第11表の如くである.

アスハルト は日本石油株式會社製品にして主として名儀針度 90 度と稱するものを用ひ一部に名儀針度 150 度と稱するものを用ひた．之等の性質は第12表に示すが如くにし

1) 土木試驗所報告第二十四號附錄參照
2) 土木試驗所報告第十八號 10 頁

第 11 表　マカダム用主骨材の粒度及空隙率

1. 上，下は 2 層の場合の上下兩層を示す
2. 單位重量及空隙率中（ ）內は輕詰の場合

名稱 寸法	粒度 篩孔徑 (mm)	標準粒度 (%)	實際使用粒度 (%) {（ ）內は施工區域を示す}	標準粒度に於ける 單位重量 (kg/m³)	空隙率 (%)	摘要
80～50	80～70	32.5	(1) (10) (12) (14) 29.9 28.8 32.3 31.0	1.468 (1.326)	47.6 (52.7)	1) は65～40
	70～60	32.5	32.7 33.4 31.4 30.7			
	60～50	35.0	37.4 37.8 36.3 38.7			
65～40	65～60	20 16.7	(3) (7) (9) (13) 19.4 19.5 17.6 14.6	1.503[1] (1.345)	46.3[1] (52.0)	
	60～50	40 33.3	38.8 37.6 41.6 29.3			
65～35	50～40	40 33.3	41.8 42.9 41.4 37.2	1.522[2] (1.376)	45.7[2] (50.9)	2) は65～35
	40～35	16.7	— — — 18.9			
50～30	50～40	65.0	(2) (5) (8) (11) 上 下 上 下 64.0 62.9 58.2 63.0 63.3 65.1	1.522 (1.367)	4.56 (51.2)	
	40～30	35.0	36.0 37.1 41.8 37.0 36.7 34.9			
(初狩) 50～30	50～40	65.0	(4) 62.0	1.357 (1.216)	45.5 (51.2)	
	40～30	35.0	38.0			
30～20	30～25	50.0	(6) 上 下 51.8 53.5	1.471 (1.301)	47.4 (53.5)	
	25～20	50.0	48.2 46.5			

て實際針度は前者 75 度後者 177 度である．

タール　は東京瓦斯會社製品 1 號タールと稱するものにして其性狀第 13 表の如し．

アスハルト乳劑　は日本ピチユマルス株式會社製品にして其性質本所創製用瀝青乳劑規格案中透入法用品規格[1] に適合せるものである．

コンクリート　表層に使用せるコンクリートは昭和 6 年 12 月 4 日施工せるものにして其壓縮試驗結果を示せば第 14 表の如くである．

1) 土木試驗所報告土木工事用材料標準試驗方法 74 頁參照

第 12 表 アスハルト試驗成績表

試驗項目	A. 名儀 針度 90	B. 名儀 針度 150	備考
比重 25°/25°C	1.032	1.038	アスハルト A には固形パラフインを含有する如く觀察せらる
針度 25°C, 100g, 5sec	75	177	
延性 15°C 5cm/min	100+α	100+α	
引火點（開放式）°C	268	208	
燃燒點 °C	327	254	
軟化點（環球法）°C	49	40	
蒸發減 %	0.003（增）	0.45	
殘溜物針度	52	121	
同 原針度に對する %	69.3	68.4	
瀝青全量 %	99.93	99.90	

第 13 表 タール試驗成績表

試驗項目	試驗數値	試驗項目	試驗數値	試驗項目	試驗數値
比重 25°/25°C	1.181	引火點（開放式）C°	95	蒸溜（初溜 157°C）	
ハツチンソン稠度 25°C	143			157°C～170°C %	0.12
30°C	53	タール粘度 30°C	93	170°C～235°C %	4.12
エングラー比粘度 80°C	16.6	35°C	36	235°C～270°C %	7.92
90°C	9.1	遊離炭素 CS_2 %	16.92	270°C～300°C %	6.42
100°C	5.4	タール酸 %	2.13	殘溜物 %	81.42
110°C	3.7	ナフタリン %	0.91	合計 %	100.00
120°/25°C	2.7	水分	痕跡	殘溜物軟化點 °C	56

第 14 表 混凝土壓縮試驗成績表

供試體 徑 10.2cm 高 20.3cm 面積 81.7cm² 體積 1,659cm³（材齡 7 日）
〃 徑 15.0cm 高 30.0cm 面積 176.7cm² 體積 5,301cm³（〃 28 日）
養生 水中に放置

種別	配合	スランプ (cm)	水/セメント (%)	材齡 7 日 密度	材齡 7 日 圧縮強さ (kg/cm²)	材齡 28 日 密度	材齡 28 日 圧縮強さ (kg/cm²)
安山岩碎石混凝土	1：4	1.0	50	2.35	119	2.38	241
	〃	〃	〃	2.38	108	2.37	232
	〃	〃	〃	2.39	107	2.39	228
	平均			2.37	111	2.38	234
川砂利混凝土	1：4	0.5	50	2.32	104	2.36	244
	〃	〃	〃	2.31	103	〃	255
	〃	〃	〃	2.31	118	〃	251
	平均			2.31	108	2.36	250

V 試驗の經過及結果

1. 經過概說

8月15日表層 No. 13 の竣工後2週間後の8月29日に輾壓の代りとして先づ速度1哩/時にて第1回の運轉を開始し，速度，輪帶，路面狀態，作用及氣溫等異なる條件のの下に時々休止しつゝ7回の試驗を行ひ總荷重 59,250 噸二車線道路換算（以下相當交通量と假稱する）平均 242,926 噸に達せしめて昭和9年1月26日一先づ運轉を終了した．各回の荷重を一括すれば第 15 表及第 16 表の如くである．

第1回試驗 は車輪 No. 2 以下を空氣入ゴム輪帶，No. 1 のみ故障の爲固形ゴム輪帶とし，No. 1, 2, 5 及 6 の4輪を働輪とした．運轉開始後僅に7分間，回轉（卽ち通過度數）5回にして No. 1 の固形輪帶の爲區域 No. 13 の路線 No. 1 の部破壞せし爲休止し8月30日再工，9月4日全車輪を空氣入ゴム輪帶として再開運轉 48 分回轉 37 回にして

第15表 各路線通過荷重

線路番號	試驗番號 / 輪帶 / 作用	(I) 1哩/時 P	G	計	(II) 3哩/時 P	G	計	(III) 3哩/時 G	(IV) 3哩/時 P	G	S	計
No. 1	働 輪	549.6	5.5	555.1	1,103.3	—	1,103.3	1,221.7	—	1,846.6	—	1,846.6
	從 輪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	計	—	—	555.1	—	—	1,103.3	1,221.7	—	—	—	1,846.6
No. 2	働 輪	531.1	—	531.1	1,056.3	—	1,056.3	1,168.5	229.1	1,530.8	—	1,759.9
	從 輪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	計	—	—	531.1	—	—	1,056.3	1,168.5	—	—	—	1,759.9
No. 3	働 輪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	從 輪	509.1	—	509.1	1,012.6	—	1,012.6	1,115.1	1,647.3	—	—	1,647.3
	計	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
No. 4	働 輪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	從 輪	544.1	—	544.1	1,082.2	—	1,082.2	1,195.1	—	—	2,304.2	2,304.2
	計	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
No. 5	働 輪	583.1	—	583.1	1,159.8	—	1,159.8	1,301.3	1,891.0	—	—	1,891.0
	從 輪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	計	—	—	583.1	—	—	1,159.8	1,301.3	—	—	—	1,891.0
No. 6	働 輪	536.0	—	536.0	1,066.0	—	1,066.0	1,168.5	—	1,770.2	—	1,770.2
	從 輪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	計	—	—	536.0	—	—	1,066.0	1,168.5	—	—	—	1,770.2
No. 7	働 輪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	從 輪	34.3	505.3	539.6	—	1,075.8	1,075.8	1,040.8	—	87.0	1,998.9	2,085.9
	計	—	—	539.6	—	—	1,075.8	1,040.8	—	—	—	2,085.9
No. 8	働 輪	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	從 輪	548.4	—	548.4	163.4	881.2	1,044.6	1,115.5	—	1,602.3	103.9	1,706.2
	計	—	—	548.4	—	—	1,044.6	1,115.5	—	—	—	1,706.2
合 計		3,835.7	510.8	4,346.5	6,643.6	1,957.0	8,600.6	9,326.5	3,767.4	6,836.9	4,407.0	15,011.3

第 16 表 相當交通量表（單位噸）

路線番號	試驗番號 I	II	III	IV	V	VI	VII	計
1	20,902	41,484	52,655	79,588	53,056	32,483	22,496	302,664
2	19,969	39,717	46,389	69,387	46,747	31,653	23,375	277,237
3	19,142	38,074	44,938	61,938	41,292	32,045	25,423	262,852
4	20,458	40,691	51,987	74,771	49,846	33,751	24,925	296,429
5	21,924	43,608	50,816	71,102	47,417	32,080	23,647	290,594
6	20,154	40,082	47,908	72,578	48,417	32,759	24,141	286,039
7	23,207	46,367	44,858	68,614	45,505	32,858	25,144	286,553
8	22,841	32,318	44,955	67,944	45,301	31,032	22,649	267,040
平均	17,821	35,262	38,239	61,546	41,046	28,129	20,883	242,926

故障の爲車輪 No. 7 を固形ゴム輪帶となし 9 月 8 日累計 12 時間，全車輪通過荷重 4,346.5 噸，二車線道路換算（相當交通量）17,821 噸に達せしめた．本試驗中 No. 13 工種を改造せる No. 13/1 及 No. 13/2 の一部に主骨材遊離の徴ありし爲タール及砂を用ひて修理した．

表（單位噸）　P……空氣入ゴム輪帶　G……固形ゴム輪帶　S……鐵　輪　帶

(V) 3 哩/時				(VI) 3 哩/時				(VII) 3 哩/時				計			
P	G	S	計	P	G	S	計	P	G	S	計	P	G	S	計
—	1,231.0	—	1,231.0	287.0	307.8	—	594.8	273.8	—	—	273.8	2,213.7	4,612.6	—	6,826.3
—	—	—	—	224.1	—	—	224.1	324.5	—	—	324.5	548.6	—	—	548.6
—	—	—	1,231.0	511.1	307.8	—	818.9	598.3	—	—	598.3	2,762.3	4,612.6	—	7,374.9
—	1,177.5	—	1,177.5	—	576.8	—	576.8	—	269.4	—	269.4	1,816.5	4,723.0	—	6,539.5
—	—	—	—	—	220.5	—	220.5	—	319.3	—	319.3	—	539.8	—	539.8
—	—	—	1,177.5	—	797.3	—	797.3	—	588.8	—	588.8	1,816.5	5,262.8	—	7,079.3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,098.2	—	—	1,098.2	274.6	—	662.2	936.8	—	—	775.1	775.1	4,541.8	1,115.1	1,437.3	7,094.2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	1,536.1	1,536.1	—	—	1,040.1	1,040.1	—	—	768.1	768.1	1,626.3	1,195.1	5,648.5	8,469.9
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,261.1	—	—	1,261.1	745.3	—	—	745.3	628.9	—	—	628.9	6,269.2	1,301.3	—	7,570.5
—	—	—	—	107.9	—	—	107.9	—	—	—	—	107.9	—	—	107.9
—	—	—	1,261.1	853.2	—	—	853.2	—	—	—	628.9	6,377.1	1,301.3	—	7,678.4
—	1,180.9	—	1,180.9	—	697.9	—	697.9	—	588.8	—	588.8	1,602.0	5,406.3	—	7,008.3
—	—	—	—	—	101.1	—	101.1	—	—	—	—	—	101.1	—	101.1
—	—	—	1,180.9	—	799.0	—	799.0	—	—	—	588.8	1,602.0	5,507.4	—	7,109.4
—	—	—	—	—	318.4	—	318.4	—	316.4	—	316.4	—	634.8	—	634.8
—	—	1,402.3	1,402.3	—	180.0	350.6	530.6	—	267.0	—	267.0	34.3	3,155.9	3,751.8	6,942.0
—	—	—	1,402.3	—	498.4	350.6	849.0	—	583.4	—	583.4	34.3	3,790.7	3,751.8	7,576.8
—	—	—	—	49.1	297.2	—	346.3	—	304.8	—	304.8	49.1	602.0	—	651.1
—	1,124.1	—	1,124.1	59.1	361.0	—	420.1	—	257.2	—	257.2	770.9	5,341.3	103.9	6,216.1
—	—	—	1,124.1	108.2	658.2	—	766.4	—	562.2	—	562.0	820.0	5,943.3	—	6,867.2
2,359.3	4,713.5	2,938.4	10,011.2	1,747.1	3,050.7	2,052.9	6,860.7	1,227.2	2,323.0	1,543.2	5,093.4	19,580.3	28,728.3	10,941.5	59,250.1

又 No. 10 工種も一部にアスハルトの吹出でし所あり乾砂を撒布した.

第2回試驗 は9月13日速度を3哩/時とし, 輪帶は前回通り No. 1 乃至 No. 6 及 No. 8 を空氣入, No. 7 を固形ゴム輪帶として開始し, 運轉1時間 12 分回轉 163 回にして No. 8 輪帶をパンクの爲固形ゴム輪帶に代へ 9月16日8時間 1,088 回通過荷重 8,600 噸相當交通量 35,262 噸に達せしめた. 本試驗中 No. 10 工種の後半部のみ路面最大約 5cm 沈下し, 主骨材の一部基礎用砂利と共に路側にハミ出されて維持し得ざるに至りしを以て該部分を取り出し加熱熔融して混合マカダム工法に由りて改造した.

第3回試驗 は輪帶を全部固形ゴムとし, No. 1, 2, 5, 及 6 を働輪とし速度3哩/時を以て9月29日及30日の2日間運轉し合計8時間 1,170 回通過荷重 9,326 噸相當交通量 38,239 噸に達せしめた. 斯回 No. 9 工種の大部分甚しく沈下し最大 5.2cm に及び一部の主骨材は或は外部にハミ出し或は基礎砂利道中に埋沒して層厚僅に 1.5cm に減じた部分ありし故 40~25mm 碎石を用ひ 2 層に分ちて同厚に改造した. 尙本試驗中 No. 13/2 の一部に修理の必要を生じた.

第4回試驗 は車輪 No. 1, 6 及 No. 7 を固形ゴム No. 2, 3 及 No. 5 を空氣入, No. 4 及 No. 8 を鐵輪帶とし, 速度3哩/時, No. 1, 2, 5 及 No. 6 を働輪として 11月9日開始せしに運轉僅に 36 分鐵輪帶の通過 115 噸にして, No. 14 工種及改造後の No. 9 工種共に完全に破壞されし故, No. 9 は略同樣の工法により, No. 14 は 65~40mm の主骨材を用ひアスハルトを結合材とせる厚さ 8cm のアスハルトマカダムに改築した. 尙同時に No. 1 工種の路面甚しく粗鬆となりし爲アスハルト乳劑及 10~5mm 碎石を以て封緘工を施した. 改築後車輪 No. 7 と No. 8 とを交代し1時間 36 分後 No. 2 を固形ゴム輪帶とし, 工種 No. 9, No. 10, No. 11 及 No. 13 等の破損修理の爲時々休止しつゝ 12 月 15 日合計 12 時間通過荷重 15,011 噸, 相當交通量 61,546 噸に達せしめた.

第5回試驗 は工種 No. 1 乃至 No. 8 及混凝土の 10 區間に 30 分毎に 0.4 l/m² の割に撒水して路面を常に濕潤狀態となし, 速度, 輪帶及作用は前回同樣として 12 月 21 日より 26 日に至る間に合計8時間通過荷重 10,011 噸相當交通量 41,046 噸に達せしめた. 本試驗終了と共に工種 No. 9, No. 10 及 No. 11 等砂利基礎を有する工種は共に破壞せし故全部層厚 8cm として主骨材に 65~40mm 碎石を用ひ結合材には No. 9 に前同樣のアスハルト, No. 10 にはタール, No. 11 には針度 177 のアスハルトを用ひて改造した.

第6回試驗 は主として機械運轉上の參考の爲に行ひ, 路面を乾燥狀態とし昭和9年1月 16 日及 18 日の2日間2時間は前回同樣とし, 後半1月 22 日より 24 日に至る3日間3時間 25 分は No. 3 を鐵輪, No. 8 を空氣入又は固形とし No. 3 及 4 を常に從輪とし他は交々働輪又は從輪とし合計5時間 25 分通過荷重 6,860 噸相當交通量 28,129 噸

に達せしめた.

第7回試験　は 1 月 25 日夜より 26 日未明に至る間, 氣溫零度以下に於て速度 3哩/時を以て施行した. 輪帶は第 6 回後半同様 No. 1 及 No. 5 を空氣入, No. 3 及 No. 4 を鐵輪帶其他は固形ゴム輪帶とし, 作用は No. 5, 6 は常に働輪, No. 3, 4 は常に從輪其他は交互に働輪又は從輪とし4時間, 通過荷里 5,093 廻, 相當交通量 20,883 廻に達せしめた.

2. 結 果 の 概 要

破損, 改築及修理　第4表記載の各工種中第1回乃至第7回に至る間に破壞せしものを摘記すれば第 17 表の如く之等を改築せし工法の大要を一括すれば第 18 表の如くである.

第 17 表　破 壞 路 面 一 覽

荷重は破壞せる路線若くは最大路線を取り( )內は鐵輪帶のみの荷重を示す

番號	區域番號	工法大要 基礎	層厚 (cm)	層數	瀝青 種別	瀝青 透入單位量(kg/m²) 厚1cm	瀝青 透入單位量(kg/m²) 全層厚	主骨材寸法 (mm)	破壞荷重(瓲) 通過荷重	破壞荷重(瓲) 相當交通量	摘要
1	No.13	碎石	8	1	タール	1.73	13.8	65～35 30～20	5.5	237	第1回試驗の初め固形ゴム輪帶に由り安定を失ふ
2	No.10	砂利	8	1	アスハルト	1.46	11.7	80～50	1,742.9	65,532	第2回終り後半部のみ沈下し主骨材基礎砂利さ共に內側にハミ出す
3	No. 9	砂利	6.5	1	アスハルト	1.54	10.0	65～40	3,044.2	116,348	第3回終り全面沈下し主骨材側壁上にハミ出す, 厚原值に 1.5cm に減じた部分あり
4	No.14	碎石	8	1	乳劑	1.53	12.2	80～50	2,835.4 (115)	116,876 (3,740)	第4回鐵輪帶試驗開始後值に 36 分にて破壞
5	No.10	砂利	8	1	アスハルト	1.46	11.7	80～50	3,839.4 (1,018)	146,236 (33,100)	前回破壞の殘部第4回試驗中12月5日龜裂擴大して破壞運轉時間5時間18分
6	No.11	砂利	8	2	アスハルト	1.64	13.1	50～30	〃	〃	第4回試驗中12月5日5時間18分にして沈下及龜裂の爲破壞す
7	No.10	砂利	8	1	アスハルト	1.46	11.7	80～50	6,196.3 (3,840.1)	234,867 (125,000)	前兩回破壞の殘小部分第5回試驗の爲破壞

工種 No. 13 の固形輪帶に由り通過荷重僅に 5.5 廻にして安定を失つて破壞せるは交通開始前重ローラー輾壓を充分施行せざる本試驗施工上の缺點に歸すべく, No. 14 のアスハルト乳劑を結合材とせるものは重ローラー輾壓を缺く前述の如き工法にては本試驗の荷重のゴム輪帶に對しては耐力充分なるに反し鐵輪帶に對しては抵抗し得ざるを示して居る. 之等兩種を除いては修理に依り維持し得ざる迄に破壞せるものは皆砂利道を基礎とせるものゝみにして混凝土を基礎とせるものは破壞せるものなく, 碎石道を基礎としアスハ

第18表 破壞路面改

1. 骨材は總て第三紀石灰岩とす
2. 主骨材空隙率は瀝青透入前の粒度に就き標準方法に據つて測定せる
3. 骨材使用量及細骨材使用量は全使用量中より封緘用瀝青材撒布前迄

種別	基礎	番號	層厚 (cm)	層數	主骨材 粒度 (mm)	主骨材 使用量 (kg/m²)	主骨材 空隙率 (%)	瀝青透入量 (kg/m²) 厚1cmにつき	瀝青透入量 (kg/m²) 全厚	細骨材撒布量 骨材寸法 (mm)	細骨材撒布量 撒布量 (kg/m²)
アスハルト透入マカダム	砂利道(厚さ20 cm)	9	6.5	1	65～40	100.0	45.5	1.54	10.0	20～10 10～ 5	24.7 3.8
		9/1	6.5	2	40～25	115.0	—	1.68	10.9	20～10 10～ 5	21.3 5.6
		9/2	6.5	2	40～25	107.0	—	1.58	10.3	20～10 10～ 5	20.4 4.4
アスハルト混合マカダム	〃	9/3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		9/4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
アスハルト透入マカダム	〃	9/5	6.5	1	65～40	111.5	45.5	1.57	10.2	20～10 10～ 5	24.0 6.9
		9/6	8	1	65～40	121.5	45.5	1.41	11.3	20～15 15～10	26.7 1.6
同上	〃	10	8	1	80～50	117.0	47.6	1.46	11.7	N 20～15 15～ 5	30.4 4.8
アスハルト混合マカダム	〃	10/2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		10/1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
タール透入マカダム	〃	10/3	8	1	65～40	121.7	45.5	タール 1.42	11.4	20～15 15～10	27.0 2.7
アスハルト透入マカダム	〃	11	8	2	50～30	125.0	45.6	1.64	13.1	20～10 2) 10～ 5 2)	23.0 3.8
アスハルト混合マカダム	〃	11/1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
針度177度アスハルト透入マカダム	〃	11/2	8	1	65～40	121.5	45.5	A 177° 1.43	11.45	20～15 15～10	30.7 1.5
アスハルト乳剤マカダム	砕石道(厚さ15 cm)	14	8	1	80～50	112.0	47.6	1.53	12.2	N 20～15 L 20～15 15～10	20.0 23.2 4.8
		14/1及14/2	8	1	80～50	115.0	47.6	E 1.55	12.4	前 20～15 15～ 5 15～10	20.0 10.0 14.7
		14/3	—	—	—	—	—	—	—	20～15 15～ 5	10.1 6.5
針度75度アスハルト透入マカダム	〃	14/4	8	1	65～40	118.5	45.5	A 1.48	11.85	20～10 10～ 5	20.3 1.5

築　工　法　一　覽

ものにしてアスハルト乳劑マカダムに限り細骨材を一回撒布せるもの
離せるものを除却せる量を控除せるもの

封緘工材量		細骨材使用量		骨材使用量	瀝青材使用量			温度 (℃)		摘要
瀝青材 (l/m²)	細骨材 (10～5 mm) (kg/m²)	1m² 使用量 (kg/m²)	主骨材に對する (%)	使用量 (kg/m²)	單位面積全量 (kg/m²)	骨材全重量に對する (%)	主骨材空隙に對する (%)	使用時の瀝青	使用時の氣温	
3.20	15.3	42.2	42.2	142.2	13.20	9.28	44.6	163	30.0	
2.56	13.3	31.5	27.4	146.5	13.46	9.2	—	162	—	
3.23	13.0	25.2	26.1	132.2	13.53	10.2	—	175～195	14.0	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	上記材料を熔融して使用
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	同　上
3.34	13.3	38.5	34.5	150.0	13.54	9.0	45.8	190	11.5	
3.41	18.7	41.1	34.8	162.6	14.71	9.0	40.3	195	6.5	
3.17	17.8	51.6	44.1	168.6	14.87	8.82	39.0	175	29.5	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	區域後半部のみ材料を熔融して使用
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	區域の前半部同上
5.85	15.8	45.5	37.4	167.7	17.25	10.28	47.4	120	7	全區域にタール使用
3.62	16.7	43.6	34.8	168.6	16.72	9.92	45.9	171～177	31.0～31.5	
—	—	—	—	—	—	—	—	195	7	上記材料を熔融して使用
3.4	21.6	47.9	39.4	169.4	14.8	8.74	40.7	181	6	
6.4	10.0	57.3	51.2	169.3	18.6	10.98	48.9	33	31.0	
E 3.7 6.7	8.5 砂 3.9	53.2	46.3	168.2	22.8	13.56	60.0	—	—	略上記工法に準じ2回改築
16.5	10.6	—	—	—	—	—	—	E 9	14.0	一部修理
A 2.98	12.15	28.9	24.4	147.4	14.83	10.06	40.8	190	13.5	

第 19 表 試 驗 路

番號	區域番號	構造大要 基礎	層厚 (cm)	層數	瀝青透入單位量 (kg/m²) 種別	厚1cmにつき	全層厚	主骨材寸法 (mm)	荷重(噸)(修理を要せし時迄の) 通過荷重	相當交通量
1	No.13/1 No.13/2	碎石	8	1	タール	1.73	13.8	65～35 30～20	583.1	21,924
2	No. 10	砂利	8	1	アスハルト	1.46	11.7	80～50	583.1	21,924
3	No.13/1	碎石	8	1	タール	1.73	13.8	65～35 30～20	3,044.2	116,348
4	No.13/2	碎石	8	1	タール	〃	〃	〃	3,044.2	116,348
5	No. 1	コンクリート	8	1	アスハルト	1.53	12.2	80～50	2,836.4 (115)	116,876 (3,740)

ルトを結合材とせるものも混凝土基礎を有するものと略同樣の耐力を示して居る．砂利道を基礎とせるもの>一つも全試驗荷重に耐へしものなきは，試驗中降雨の爲基礎砂利道の含水率增大し支持力を減殺せられた爲である．

大破に至らず修理に由つて耐力を維持し得たものを摘記すれば第 19 表の如くである．

修理を最も多く要せしは No. 13/2 のタール混合マカダムであるが第 4 回試驗半に修理せる後は耐力減少せず能く全荷重を支持した．アスハルトマカダム中砂利道を基礎とせるものは多くは修理を俟たず破壞され，混凝土を基礎とせるものは No. 1 に對絨工を施工せる外何等修理の必要なく，碎石道を基礎とせる No. 12 は No. 1 と同工なるに全然修理を要しなかつた．乳劑を用ひし No. 14 はゴム輪帶に對しては何等修理の必要さへ見なかつたが鐵輪帶の通過するや修理の策なき迄に破壞された．

變形量 荷重の通過に由る路面の移動は垂直及水平の二方向に生じ荷重の撤去と共に回復消滅するものと荷重の通過と共に積算さる>ものとあり，共に斯種鋪裝の常として，輾壓の有無，溫度及環境載荷狀況等に由つて異るから，試驗の方法又は時期等を異にするものを比較するを得ない．垂直方向の變形は荷重に由る路面又は基礎の沈下，隣接荷重に由る隆起，輪帶に由る磨耗，磨耗材料の附着等より成るを以て必ずしも通過荷重の增加に伴はず甚しきは荷重を支持する軌路の部分に於ても時に隆起を示すことがある．而して機械の構造上軌路間に間隙ある部分に於ては土道又は砂利道に見るが如き甚だしき隆起(Hump)を生ずる場合がある．本試驗中に於ける各測點の垂直變形量を測定し隆起高を沈下量より相殺平均せる結果の一部を示せば第 20 表乃至第 22 表の如くである．彈性的變形量及水平的移動に就ては測定するを得なかつた．

面修理一覽

修理大要				修理の原因	摘要
瀝青 種別	瀝青 使用量(kg)	骨材 (kg)	材料費 (円/m²)		
タール	0.94	砂 1.4	0.070	所々主骨材遊離の徴あり	第1回試験終了後
—	—	砂 0.62	0.014	アスハルト吹出せる所あり	同上
タール	0.68	(10～5) 1.98	0.208	一部主骨材動搖す	第3回試験後 11月7日封緘工面積 0.113m²
タール	0.20 1.11	(20～10) 2.8 (10～5) 2.0	0.498	同上	路體に(20～10)碎石に6.8%のタールを混合せるものを撒布せる後封緘す, 面積0.111m²
乳劑	2.54 3.07	砂 6.15	0.384	路體露出し路面粗鬆となる	第4回 36分にして封緘工 ( )內荷重は鐵輪帶

第 20 表　空氣入ゴム輪帶に由る路面變形量

第1回試験　速度1哩/時　12時間

1. 區域 13/1 及 13/2 は 5 ケ所其他は 7 ケ所の平均とす
2. 平均及最大に對し路線 1 及 7 (×印) を除く

路線 / 區域	變形量 (mm)															平均單位變形量 (mm/100t)	
	1×	2	3	4	5	6	7×	8	絶對			働輪		從輪		最大	平均
	働	働	從	從	働	働	從	從	最大	最大	平均	最大	平均	最大	平均	平均	
1	6.0	8.0	3.0	6.0	4.0	6.0	8.0	5.0	16.0	8.0	5.8	8.0	6.0	6.0	4.7	1.51	1.07
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	8.4	8.0	6.0	7.4	5.7	5.7	7.0	5.4	13.0	8.0	6.4	8.0	6.5	7.4	6.3	1.51	1.18
4	10.2	10.2	5.9	6.9	6.1	7.5	10.2	7.5	18.5	10.2	7.3	10.2	7.9	7.5	6.8	1.92	1.35
5	10.3	10.0	6.0	7.7	6.6	7.5	9.0	6.0	15.0	10.0	7.3	10.0	8.1	7.7	6.6	1.88	1.35
6	10.5	8.8	7.5	8.6	8.5	8.5	11.5	8.1	15.5	8.8	8.3	8.8	8.6	8.6	8.1	1.66	1.53
7	10.0	8.6	6.6	7.0	7.0	5.3	7.7	7.0	15.0	8.6	6.9	8.6	7.0	7.0	6.9	1.62	1.27
8	8.5	7.2	6.8	8.6	11.4	7.7	10.1	6.7	15.5	11.4	7.9	11.4	8.8	8.6	7.3	1.96	1.46
9	17.0	17.6	14.7	18.6	13.4	13.6	11.3	10.7	23.0	18.6	14.8	17.6	14.9	18.6	14.7	3.43	2.76
10	15.6	17.8	20.1	26.9	30.1	23.5	15.2	14.9	49.5	30.1	22.2	30.1	23.8	26.9	20.6	5.16	4.10
11	13.1	13.6	11.6	13.9	13.1	10.0	10.0	9.3	19.0	13.9	11.9	13.6	12.2	13.9	11.6	2.56	2.20
12	9.2	12.8	9.6	11.6	11.9	8.6	8.9	5.1	17.5	12.8	9.9	12.8	11.1	11.6	8.8	2.41	1.83
13/1	8.4	9.4	8.4	10.2	11.0	7.6	10.2	6.4	14.0	11.0	8.8	11.0	9.3	10.2	8.3	1.92	1.62
13/2	8.0	9.8	8.0	7.8	9.6	8.8	13.4	9.2	19.0	9.8	8.9	9.8	9.4	9.2	8.3	1.93	1.64
14	8.8	8.1	6.8	6.4	6.8	4.6	5.6	5.6	11.5	8.1	6.4	8.1	6.5	6.8	6.3	1.59	1.18
1–8 最大	—	—	—	—	—	—	—	—	18.5	11.4	8.3	11.4	8.8	8.6	8.1	1.96	1.53
1–8 平均	—	—	—	—	—	—	—	—	15.2	9.3	7.1	9.3	7.6	7.6	6.7	1.72	1.31
9–11 最大	—	—	—	—	—	—	—	—	49.5	30.1	22.2	30.1	23.8	26.9	20.6	5.16	4.10
9–11 平均	—	—	—	—	—	—	—	—	30.5	20.9	16.3	20.4	17.0	19.8	15.6	3.72	3.01

第 21 表 固形ゴム輪帶に由る路面變形量

第3回試驗 速度 3 哩/時 8 時間

1. 10 及 13 は 5 ケ所其他は 7 ケ所の平均とす
2. (−) は隆起を示す

區域＼路線	變形量 (mm) 1 働	2 働	3 從	4 從	5 働	6 働	7 從	8 從	絶對最大	最大	平均	働輪 最大	働輪 平均	從輪 最大	從輪 平均	平均單位變形量 (mm/100t) 最大平均	平均
1	1.5	2.0	−0.2	−0.5	2.0	1.0	−0.7	−0.2	6.0	2.0	0.6	2.0	1.6	−0.7	−0.4	0.17	0.05
2	−1.0	3.0	1.0	1.0	2.0	3.2	1.0	2.5	6.0	3.2	1.6	3.2	1.8	2.5	1.4	0.26	0.14
3	−0.9	0.3	0.7	0.9	1.0	0.9	0.3	0.9	5.0	1.0	0.5	1.0	0.3	0.9	0.7	0.08	0.04
4	2.0	−0.1	0.1	0.3	2.0	2.3	2.3	1.4	10.0	2.3	1.3	2.3	1.5	2.3	1.9	0.22	0.11
5	0.4	1.3	0.9	0.7	0.6	2.0	1.1	2.1	5.0	2.1	1.1	2.0	1.1	2.1	1.2	0.19	0.09
6	1.3	1.6	2.1	1.0	0.4	0.4	0.6	0.7	6.0	2.1	1.0	1.6	0.9	2.1	1.1	0.18	0.09
7	−0.7	0.3	1.1	−0.4	2.6	0.7	1.1	0.9	8.0	2.6	0.7	2.6	0.7	1.1	0.7	0.20	0.06
8	−0.9	−0.9	−0.4	0.0	0.6	0.7	0.4	0.7	4.0	−0.9 0.7	0.0	−0.9 0.7	−0.1	0.7	0.2	0.06	0.00
9	13.4	12.4	7.1	8.1	20.9	20.3	19.1	8.0	39.0	20.9	13.7	20.9	16.7	19.1	10.6	1.61	1.17
10/1	1.0	1.3	−5.7	0.0	0.0	4.7	4.3	−1.3	−9.0 8.0	−5.7 4.7	0.5	4.7	1.7	−5.7 4.3	−0.8	0.40	0.04
10/2	15.0	15.2	12.6	13.2	12.5	17.4	13.4	16.8	18.0	17.4	14.5	17.4	15.0	16.8	14.0	1.49	1.24
11	3.7	5.4	1.2	2.5	3.0	2.3	7.7	6.8	15.0	7.7	4.1	5.4	3.6	7.7	4.5	0.74	0.35
12	1.0	1.0	0.9	1.1	−0.1	0.1	2.7	1.7	6.0	2.7	1.0	1.0	0.5	2.7	1.6	0.26	0.09
13/1	3.8	0.6	2.6	2.6	0.8	3.6	3.8	0.0	7.0	3.8	2.2	3.8	2.2	3.8	2.1	0.36	0.19
13/2	1.6	0.4	1.0	1.2	3.6	2.2	2.8	2.6	8.0	3.6	1.9	3.6	1.9	2.8	1.9	0.28	0.16
14	0.6	0.4	2.0	1.4	3.0	0.3	1.9	2.0	14.0	3.0	1.4	3.0	1.1	2.0	1.8	0.23	0.12
1−8 最大	—	—	—	—	—	—	—	—	10.0	3.2	1.6	3.2	1.8	2.5	1.4	0.26	0.14
1−8 平均	—	—	—	—	—	—	—	—	6.3	2.0	0.85	1.9	0.98	1.4	0.74	0.17	0.08

第1回試驗の空氣入ゴム輪帶に由る變形量は重ローラーの輾壓を受けざる路面にして且最も高氣溫の季節なりし爲單位輪壓に比し變形量多く，混凝土基礎の部に於ては最大 18.5 mm に達し平均 9.3mm である．固形ゴム輪帶は輪壓大なれども第1回及第2回の試驗に由り輾壓に等しい作用を受けた結果其變形量比較的尠く混凝土基礎上に於ては最大 10mm 平均 0.85mm である．第 4 回鐵輪帶を混用せる以後は鐵輪帶の載荷に由り他軌路の隆起を生じ路面沈下量は載荷と並行せざるに至つた．鐵輪帶に由る變形量は固形ゴムに比しては遙に大なるも輾壓の影響及試驗時の氣溫低下せる爲空氣入ゴム輪帶の第1回試驗の變形量に及ばず，混凝土基礎上に於て最大 16mm，平均 9.5mm である．

路面の破壞前の許容最大變形量は砂利道を基礎とせるアスハルト・マカダムに於ては最大 52mm に及んだが砕石道を基礎とせる乳劑マカダムに於ては 14mm に過ぎない．上記變形量と第 11 表に示せる主骨材空隙率及アスハルト透入單位量とを對比すれば第 23 表

第 22 表　鐵輪帶による平均變形量及單位變形量

1. 上段數値は變形量(mm)　下段數値は單位變形量(mm/100t)
2. ×印は平均より除く
3. (−)印は隆起を示す

試驗輪	IV		V		IV及V		VI			VII		VI及VII		計		
車番	No. 4	No. 7	No. 4	No. 7	No. 4	No. 7	No. 3	No. 4	No. 7	No. 3	No. 4	No. 3	No. 4	No. 3	No. 4	No. 7
區域 ＼ 通過荷重(t)	2304.2	1998.9	1536.3	1402.2	區域1~13 3840.4 區域14 3727.4	區域1~13 3401.1 區域14 3301.75	662.2	1040.1	350.6	775.1	768.1	1437.3	1803.2	1437.3	區域1~8.12.13 5648.4 區域9~11 1803.2 區域14 5535.3	區域1~8.13 3751.7 區域9~11 350.6 區域12 3401.1 區域14 3301.7
1	11.6 × 0.50×	7.0 × 0.35×	0.9 0.06	-1.6 -0.11	12.4 0.32	5.4 0.16	7.6 1.15	-3.0 -0.29	2.0 0.57	5.0 0.65	6.0 0.78	12.6 0.88	3.0 0.17	12.6 0.88	15.4 × 0.27×	7.4 × 0.20×
2	6.3 0.27	6.3 0.31	0.3 0.02	-1.1 -0.08	6.5 0.17	5.2 0.15	3.7 0.51	0.14 0.11	1.4 0.40	2.0 0.26	1.0 0.13	5.7 0.40	1.14 0.06	5.7 0.40	7.6 0.13	6.6 0.18
3	5.3 0.23	7.3 0.36	0.0 0.00	-1.3 -0.09	5.3 0.14	6.0 0.18	3.4 0.51	0.6 0.06	1.4 0.40	3.0 0.39	1.7 0.22	6.4 0.45	2.3 0.13	6.4 0.45	7.6 0.13	7.4 0.20
4	9.3 0.40	7.7 0.38	4.1 0.27	-0.6 -0.04	13.6 0.35	7.1 0.21	9.0 1.36	-1.0 -0.10	1.0 0.24	4.6 0.59	3.4 0.39	13.6 0.95	2.4 0.13	13.6 0.95	16.0 0.28	8.1 0.22
5	7.1 0.31	5.7 0.28	0.3 0.02	0.3 0.02	7.4 0.19	6.0 0.18	6.7 1.01	0.6 0.06	0.6 0.17	2.6 0.34	0.6 0.21	9.3 0.65	2.2 0.12	9.3 0.65	9.6 0.17	6.6 0.18
6	6.9 0.30	5.7 0.28	0.7 0.05	-0.6 -0.04	7.6 0.20	5.1 0.15	6.3 0.95	1.3 0.12	0.7 0.20	1.7 0.22	0.6 0.08	9.0 0.63	1.9 0.10	9.0 0.63	9.5 0.17	5.8 0.15
7	7.3 0.32	6.7 0.33	1.0 0.06	-0.4 -0.03	8.4 0.22	6.3 0.19	5.3 0.80	1.0 0.10	0.6 0.17	2.6 0.34	-0.6 -0.08	7.9 0.55	0.4 0.02	7.9 0.55	8.8 0.16	6.9 0.18
8	6.4 0.28	5.7 0.28	0.7 0.05	0.7 0.05	7.1 0.18	6.4 0.19	4.6 0.69	0.2 0.02	0.0 0.0	2.4 0.31	0.3 0.04	7.0 0.49	0.5 0.03	7.0 0.49	7.6 0.13	6.4 0.17
9	—	—	—	—	—	—	9.3 1.40	14.0 1.35	8.00 2.29	19.4 2.50	17.0 2.21	28.4 1.98	31.0 1.71	28.4 1.98	31.0 1.71	8.0 2.28
10	—	—	—	—	—	—	17.6 2.66	25.4 2.44	4.0 4.00	15.9 2.05	13.0 1.69	33.5 2.36	38.4 2.14	33.5 2.36	38.4 2.14	14.0 4.00
11	—	—	—	—	8.0 0.21	8.0 0.24	10.9 1.65	14.9 1.43	7.6 2.17	15.6 2.01	15.0 1.95	26.5 1.84	29.9 1.60	26.5 1.84	29.9 1.60	7.6 2.17
12	—	—	—	—	11.0 0.25	6.6 0.19	—	—	—	—	—	19.0 1.32	—	19.0 1.32	17.5 0.31	6.6 0.19
13/1	—	—	—	—	3.0 0.08	-2.8 -0.08	4.0 0.60	-2.4 -0.23	-1.2 -0.34	1.6 0.21	2.0 0.26	5.6 0.39	-0.4 -0.02	5.6 0.39	2.6 0.05	-4.0 -0.11
13/2	—	—	—	—	9.0 0.23	0.6 0.02	4.6 0.69	1.1 0.11	0.0 0.00	4.2 0.54	1.6 0.21	8.8 0.61	2.7 0.15	8.8 0.61	10.2 0.18	0.6 0.02
14	—	—	—	—	9.0 0.24	0.6 0.02	—	—	—	—	—	17.9 1.25	—	17.9 1.25	13.1 0.24	0.6 0.02
平均 (1~8)	6.9 0.30	6.4 0.32	1.0 0.07	-0.6 -0.04	8.5 0.22	5.9 0.18	5.8 0.88	-0.0 -0.00	1.0 0.27	3.0 0.39	1.7 0.02	8.9 0.62	1.7 0.09	8.9 0.62	9.5 0.17	6.8 0.18

第 23 表　路面の變形量と構成材料との關係

順位は平均變形量による

區域	構造大要				空氣入ゴム輪帶變形量 (mm)			固形ゴム輪帶變形量 (mm)			鐵輪帶變形量 (mm)		摘要
番號	層厚(cm)	層數	主骨材空隙率(%)	透入瀝青單位量 (kg/m²)	絶對最大	平均	順位	絶對最大	平均	順位	平均	順位	
1	8	1	47.6	1.53	16.0	5.8	7	6.0	0.6	6	15.4[1)]	2	1) 車輪 No. 4 の計以下同斷
2	5	1	45.6	2.44	—	—	—	6.0	1.6	1	7.6	8	
3	6.5	1	46.3	1.85	13.0	6.4	6	5.0	0.5	7	7.6	7	
4	5	1	45.5	2.40	18.5	7.3	3	10.0	1.3	2	16.0	1	
5	8	2	45.5	1.71	15.0	7.3	4	5.0	1.1	3	9.6	3	
6	5	2	47.7	2.55	15.5	8.3	1	6.0	1.0	4	9.5	4	
7	6.5	1	46.3	1.56	15.0	6.9	5	8.0	0.7	5	8.8	5	
8	5	1	45.6	1.54	15.5	7.9	2	4.0	0.0	8	7.6	6	

の如く，施工中の輾壓作用に相當する最初の空氣入ゴム輪帶に由る變形量の多寡は主骨材の空隙率より寧ろアスハルト透入單位量に依る所多く，磨耗作用を加味する鐵輪帶による變形量に於ては之等に比し主骨材の材質の影響大なるが如し．

第3回に亘る迄のゴム輪帶荷重に由つて軌路間隙に生じたる隆起（Hump）を測定せる結果は第 24 表の如くである．

第 24 表　輪軌隆起平均高比較表

第1回，第2回及第3回試驗の結果

(1) 輪軌面よりの隆起高（mm）を示す
(2) 路線名は該路線の外側の隆起を示す
(3) 各路線の値は通常7測點の平均
(4) 平均欄（ ）内は8路線の平均とす

區域	路線別高(mm)				絶對最大隆起高	最大平均隆起高	平均		摘要
	3	4	6	8	(mm)	(mm)	隆起高 (mm)	順位	
1	7.2	—	7.6	6.7	15.0	7.6	7.2 (2.7)	7	
2	4.6	—	3.1	2.7	14.0	4.6	3.5 (1.3)	2	
3	7.1	—	6.4	6.2	12.0	7.1	6.6 (2.4)	6	
4	6.4	2.4	10.4	9.8	26.0	10.4	7.3 (3.6)	8	
5	7.1	—	4.0	5.3	10.0	7.1	5.5 (2.1)	4	
6	2.1	—	1.0	9.1	12.0	9.1	4.1 (1.5)	3	
7	6.0	—	5.6	6.5	19.0	6.5	6.0 (2.3)	5	
8	1.0	—	1.0	8.1	12.0	8.1	3.4 (1.3)	1	
9	21.0	16.6	26.6	16.6	31.0	26.4	20.2 (10.1)	—	破壞
10/1	10.4	3.5	30.7	4.4	37.0	30.7	12.3 (7.1)	—	5ヶ所の平均
10/2	4.6	—	8.3	6.0	21.4	8.3	6.3 (2.4)	—	5ヶ所の平均　第2回試驗に破壞せるもの．第3回のみの荷重
11	0.8	—	7.6	1.7	28.7	7.6	3.4 (1.3)	—	6ヶ所の平均
12	0.0	—	1.2	1.2	16.0	1.2	1.2 (0.3)	—	
13/1	3.7	2.0	4.1	0.0	13.0	4.1	3.3 (1.2)	—	5ヶ所の平均
13/2	6.2	5.9	3.4	7.9	14.0	7.9	5.9 (2.9)	—	
14	2.0	1.9	0.8	1.7	14.0	2.0	1.6 (0.8)	—	
1~8平均	—	—	—	—	15.0	7.6	5.4 (2.1)	—	

3. 各工種の狀況

各工種に就き試驗經過及結果中特筆すべき點を概說すれば次の如く，其の試驗終了後の路面を示せば第7圖の如くである．

No. 1 固形ゴム輪帶試驗完了後卽ちゴム輪帶單用の通過荷重最大 3044 瓲に達したる時路面は他の混凝土基礎を有するものに比し稍粗鬆となりたるを以て，アスハルト乳劑と 10～5mm 碎石（石灰岩）とを用ひて封緘工を施し特に輾壓せず第4回の鐵輪帶混用試驗を行ひしに，鐵輪軌路の沈下甚だしく最大 25mm, 平均 17mm に達し一部路體主骨材を暴露せしも破損の度は進展せず試驗完了迄充分なる耐力を示した．本工に施した封緘工は必しも必要なりとは認められず路面粗鬆の爲路體を破壞に導くとは認められぬ．本工の空氣入ゴム輪帶による沈下量は絕對最大値は第 2 位に大なるも平均變形量は 5.8mm, 平均單位變形量は 1.07mm/100t にして最小である．固形ゴム輪帶に由る變形量も亦比較的尠いがゴム輪帶による隆起（Hump）は絕對最大高に於て第3位，平均に於て第2位に高い．而して零度下の試驗に於て變形量の大なるはアスハルト透入單位量の最少なるに由る．本工は第 7 回試驗後の路面狀況を見るに尙充分の耐力を殘して居る．

No. 2 本工は何等破損の徵なく一回の修理も要せず，アスハルト透入單位量多きに拘はらず變形量，隆起等比較的尠く特に低氣溫に於ける變位量尠く良好の結果を示した．

No. 3 本工も些も破損せず，隆起は平均値比較的大きく，變形量も平均値は必しも小ならざるも絕對最大値は常に尠く均質なるを示して居る．最良の結果を示せるもの>一つである．

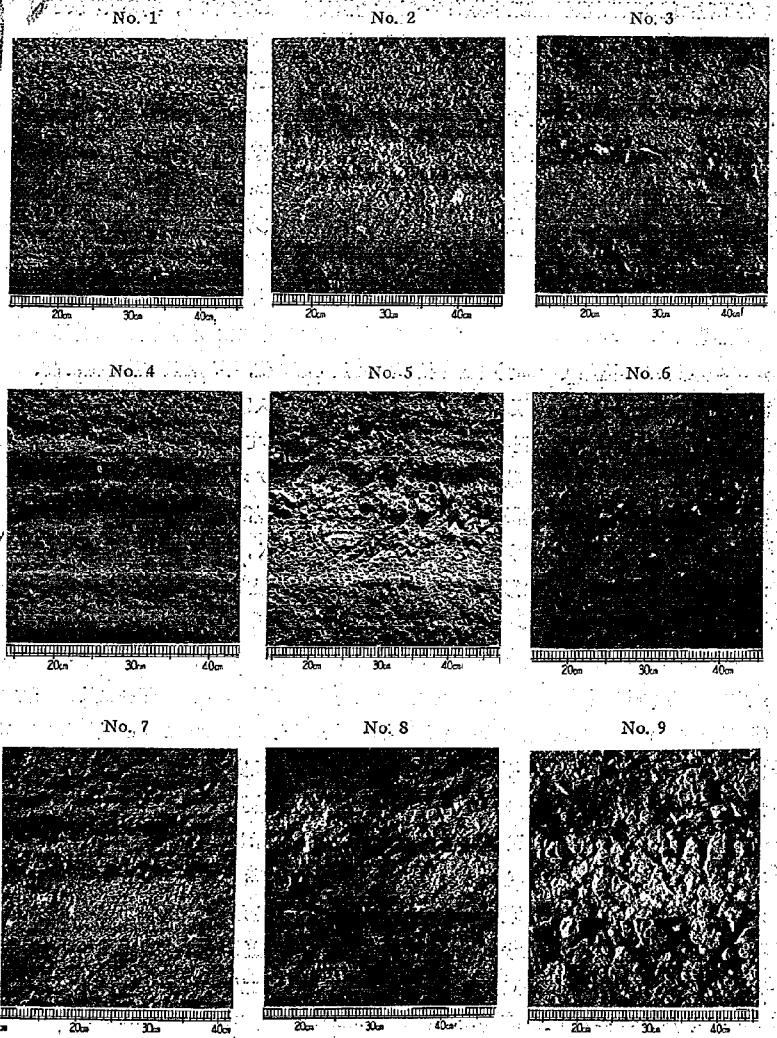
No. 4 本工も修理を要しなかつたが其の變形量，隆起等混凝土基礎を有するもの>內最大にして主骨材の軟質なるとき其の影響甚しきを示して居る．試驗終了後に於ける最大變形量は 16mm にして其全層厚の 32% を減じ隆起最大値は 26mm にして全層厚の 52% に達した．路面は變形の爲，平滑を缺くが交通上支障ある程度に至らず其の耐力に於ては尙充分の餘力あり．アスハルト透入單位量多きときは其許容變形量甚大なるを示して居る．

No. 5 本工も1回の修理を要せず尙充分の餘力あるを示して居る．變形量及隆起等の平均値は必ずしも小ならざるも其絕對最大値は比較的尠く路面の均質なるを示して居る．本試驗の範圍內に於ては未だ特に2層に施工せる爲の特徵を示して居ない．

No. 6 本工も修理を要せず耐力の餘裕を示して居り試驗終了後の路面比較的平滑である．最初氣溫の比較的高き間の變形量は大であるが零度下に於ては變形量激減してアスハルト透入單位量の多量なる効果を示して居る．

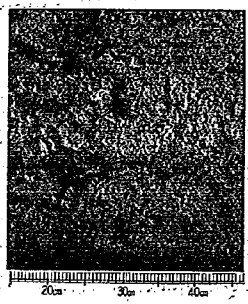
No. 7 本工は低氣溫時の鐵輪帶に由る變形量最小にして且變形量各季節を通じ激變な

第7圖 試驗終了後の路面
最大通過荷重量 8,470 瓲
相當交通量 302,664 瓲



No. 10

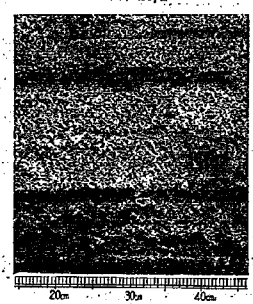
No. 11



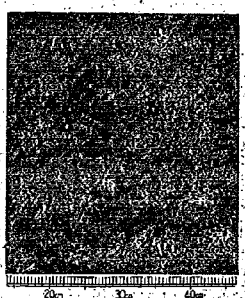
No. 12/1

No. 12/2

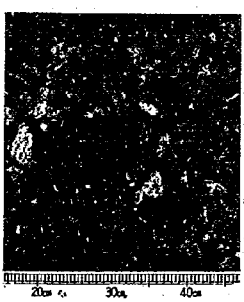
No. 13/1



No. 13/2

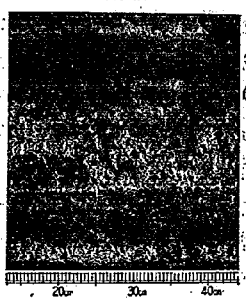


No. 14



No. 15

No. 16



く，アスハルト透入單位量尠きに原因する缺點を示さず，1回の修理も要せず路面狀況も良好にして尙充分の餘力を示し，斯種構造に於て此の程度の單位透入量は未だ過少ならざるを明にして居る．最も經濟的工法の一と推定し得る．

No. 8 本工はアスハルト透入量僅に 7.7kg/m² にして全層厚に對する透入量最も尠く層厚 1cm に對する使用量も第2位に尠いが，成績は良好にして1回の修理の要なく試驗後の路面は稍粗鬆であるが交通上何等支障なく且破損の徵候をも示さない．

No. 9 本工は第1回試驗開始後7時間 340 廻にして路面に波狀を生じ第1回試驗終了後既に最大變形量 23mm に達し，第3回試驗終了し荷重 3,044 廻に達したる時は沈下增大して 52mm に及び主骨材路側外にハミ出され最薄層厚僅かに 1.5cm に過ぎざるに至りしを以て第 18 表の如く改良せしも遂に鐵輪帶の荷重に耐え得なかつた．

No. 10 本工は其の耐力一樣ならず No. 11 に接する後半部は早くも第1回試驗開始後9時間 438 廻にして路面の沈下甚だしく，側壁に接する兩側盛り上り第1回試驗終了後の最大沈下量 49.5mm に達し第2回試驗後 67.5mm に達して破壞した．相當交通量を以て本部分の耐力を示せば 65,532 廻である．然るに本工中 No. 9 に近き前半は尙荷重を支持し第3回試驗を終り第4回試驗中鐵輪帶通過量 1,018 廻，ゴム輪帶通計 3,839.4 廻相當交通量 146,236 廻に達する迄耐え，更に殘り僅少部分は能く第4回試驗終り相當交通量 234,867 廻に達するまで耐へた．破壞せる部分は混合マカダムとして第 18 表に示すが如く改築し第5回試驗後はタール透入マカダムとした．其の試驗終了後の狀況は第7圖に示す．

No. 11 本工はゴム輪帶を單用せる第3回までは路面の沈下 34mm に達したが破壞せず，第4回試驗中 11 月 28 日鐵輪帶荷重 310 廻にして先づ中央部分に龜裂を生じ次で 11 月 29 日 580 廻に至つて鐵輪帶の軌路沈下し主骨材ハミ出すに至り，12 月5日鐵輪帶 1,018 廻にして遂に破壞するに至つた．12 月 7 日之を取り出し熔融釜にて加熱熔融し混合マカダムとして粗粒を下に細粒を上にして改築したが第5回試驗によつて破壞した．其後針度 177 度のアスハルトを以て透入マカダムを造つたが，第7圖に示すものは之である．

No. 12 本工は何等修理の必要なく全荷重に耐へた．ゴム輪帶に由る隆起は平均 1.2 mm に過ぎず，混凝土を基礎とする No. 1 に比し遜色なく唯路面稍粗鬆なるのみであり尙充分の耐力を有して居る．

No. 13 最初築造したタール透入マカダムは固形ゴム輪帶の通過 5.5 廻にして破壞し斯種鋪裝に對しては重ローラーによる輾壓を用ひざる施行法の不適當なるを明にしたが，混合マカダムに改造後はゴム輪帶荷重に對し2回小修理を施した後は鐵輪帶に對しても何等損傷を受けず1回の修理も要せず全荷重に耐へた．特に零下の低溫に於ても注目を引く

程の變化を示さず試驗後も路面平滑にして尙餘力あるを示して居る．變形量比較的尠く殊に最大値に於て然りである．

No. 14 本工はゴム輪帶荷重に對しては損傷を受けず變形量も尠く 1 回の修理も要しなかつたが，1 度鐵輪帶荷重を受くるや忽破壞し修理の効なく且數回改築したが遂に抵抗するを得ず，更に工法を研究するの必要に迫られた．破壞部分を檢するにアスハルトは骨材をよく被覆しては居るが空隙を填充して相互を密着せしむるに至つて居ない．其後工種を代へて主骨材を 65～40mm とするアスハルド・マカダムに改造後は鐵輪帶に對して充分支持し得 1 回も修理の必要もなく，主骨材寸法を異にせる同厚の No. 12 又は No. 1 に比して却て好結果を示した．

No. 15 本混凝土鋪裝は鐵輪帶の部分に於て最大 6.3mm，平均最大 4.8mm，ゴム輪帶の部分に於ては僅に表皮を形成するモルタル層の剝奪せられし程度の磨耗を示したに過ぎない．割砂利を主骨材とせる No. 16 に比して稍優れるが如きも本試驗の程度では其差明瞭でない．磨耗量は第 25 表に掲げた．

No. 16 本混凝土工は割砂利を主骨材とせる爲か鐵輪帶による磨耗量稍多きも瀝青質の鋪裝に比しては極めて輕微である．

第 25 表 混凝土鋪裝磨耗量表

1. ( ) 內は鐵輪帶のみの荷重を取る
2. ゴム輪帶平均は路線 1, 2, 5, 6 のみを取る

區域	路線番號	1	2	3	4	5	6	7	8	ゴム輪帶平均	鐵輪帶平均
	輪帶種別	ゴム輪帶	ゴム輪帶	ゴム輪帶鐵輪帶	ゴム輪帶鐵輪帶	ゴム輪帶	ゴム輪帶	ゴム輪帶鐵輪帶	ゴム輪帶鐵輪帶		
15	最大磨耗量(mm)	1.1	1.4	4.5	6.3	2.0	1.0	4.9	0.5	2.0	4.0
	平均磨耗量(mm)	0.7	0.7	2.6	4.8	1.0	0.3	4.1	0.1	0.7	2.9
	單位磨耗量(mm/100t)	0.01	0.01	0.04 (0.18)	0.06 (0.08)	0.01	0.004	0.05 (0.11)	0.00 (0.10)	0.01	0.04 (0.11)
16	最大磨耗量(mm)	1.5	1.0	3.3	7.3	2.1	1.5	5.5	0.9	2.1	4.2
	平均磨耗量(mm)	0.6	0.5	2.3	5.5	1.2	0.5	5.3	0.3	0.7	3.3
	單位磨耗量(mm/100t)	0.01	0.01	0.03 (0.16)	0.06 (0.10)	0.02	0.01	0.07 (0.14)	0.004 (0.29)	0.01	0.04 (0.12)
16 の 15 に對する單位磨耗量の倍率		1.0	1.0	0.75 (0.89)	1.0 (1.25)	2.0	2.5	1.2 (1.2)	2.9 (2.9)	1.0	1.0 (1.1)

4. 各種工法の比較

混凝土基礎上の工法の比較 前述の如く，混凝土基礎を有する No. 1 乃至 No. 8 の各工種は基礎の變形なき故其耐力の相違は總て表層工法の相違に歸し得るが，本試驗の荷重の

範圍內では之等8種は未だ破壞せず從つて耐力の比較を直に數量的に表示し得ないから路面の變形量に由つて之を比較判斷するの外無い．荷重に由る變形中各測點の隆起と沈下とを相殺平均せず其總和（變位量と假稱す）を求むれば第 26 表の如く，隆起と沈下とを相殺平均すれば第 27 表の如く，鐵輪帶に由る沈下量のみを比較すれば第 28 表の如くである．

變位量の多寡は季節に由つて異り，高氣溫の時はアスハルト透入單位量の最少なる No. 1 最小にして透入單位量最多なる No. 6 最大なるに反し，零度以下の低氣溫に於ては透

第 26 表　變　位　量　に

區域	工法大要					空氣入ゴム輪帶				固形ゴ	
	層厚 (cm)	層數	アスハルト透入單位量 (kg/m²)		主骨材質	I (夏) 1 噸/時 12 時間				III (夏) 3 噸/時	
			厚1cm	全層厚		Σ(+)	Σ(−)	Σ(±)	順位	Σ(+)	Σ(−)
1	8	1	1.53	12.2	L	4.0	0.3	4.3	1	1.0	0.5
2	5	1	2.44	12.2	L	—	—	—	—	1.7	0.3
3	6.5	1	1.85	12.0	L	4.7	0.1	4.8	2	1.0	0.6
4	5	1	2.40	12.0	H	9.6	0.0	9.6	5	1.7	0.4
5	8	2	1.71	13.7	L	5.9	0.0	5.9	4	1.4	0.2
6	5	2	2.55	12.7	L	10.5	0.0	10.5	7	1.5	0.6
7	6.5	1	1.56	10.1	L	5.4	0.0	5.4	3	1.1	0.4
8	5	1	1.54	7.7	L	9.9	0.0	9.9	6	0.8	0.7
平均	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.4	0.6

第 27 表　變　形　量　に

區域	工法大要					空氣入ゴム輪帶（夏期）						
	層厚 (cm)	層數	アスハルト透入單位量 (kg/m²)		主骨材質	絶對最大		最大平均		平均		
			厚1cm	全層厚		變形量 (mm)	%	單位變形量 (mm/100t)	%	單位變形量 (mm/100t)	%	順位
1	8	1	1.53	12.2	L	16.0	103	1.51	88	1.07	82	1
2	5	1	2.44	12.2	L	—	—	—	—	—	—	—
3	6.5	1	1.85	12.0	L	13.0	84	1.51	88	1.18	90	2
4	5	1	2.40	12.0	H	18.5	119	1.92	112	1.35	103	5
5	8	2	1.71	13.7	L	15.0	97	1.88	109	1.35	103	4
6	5	2	2.55	12.7	L	15.5	100	1.66	96	1.53	117	7
7	6.5	1	1.56	10.1	L	15.0	97	1.62	94	1.27	97	3
8	5	1	1.54	7.7	L	15.5	100	1.96	114	1.46	111	6
平均	—	—	—	—	—	15.5	100	1.72	100	1.31	100	—

入單位量最多なる No. 6 最小にして No. 2 之に次ぎ，透入單位量最少なる No. 1 は，他の特殊の理由に由り特に變形最大なる No. 4 に次いで大であり，第 27 表及第 28 表の變形量も略同樣の傾向を示して居る．卽ち變形量より見て四季を通じて常に最も卓越せる工法なるものを斷定するを得ず各〻一得一失あり，工法に由る相違は比較的僅少である．

工種 No. 5 及 No. 6 は 2 層に分けて施工しアスハルト使用量多く工費不廉なるにも拘はらず共に他工法に比して必しも卓越せず，一般的には經濟的工法とは認め難い．

No. 1 を No. 3, No. 7 に比するに層厚大にしてアスハルト使用全量多きに拘はらず特に

由 る 工 法 の 比 較

ム輪帶		各種輪帶混合				各種輪帶混合				摘 要
8 時間		IV (秋) V 前半 3 噸/時 16 時間				VII (冬下) 3噸/時 4時間				
Σ(±)	順位	Σ(+)	Σ(−)	Σ(±)	順位	Σ(+)	Σ(−)	Σ(±)	順位	
1.5	2	3.6	1.5	5.1	7	1.7	0.3	1.9	7	IV 以後 1 の値大なるは壓壓せざる封緘層を新設せし爲
2.0	5	1.2	2.4	3.6	2	0.8	0.4	1.2	2	
1.6	4	1.4	2.0	3.4	1	1.0	0.5	1.5	4	
2.1	7	2.2	4.5	6.7	8	1.3	0.8	2.1	8	
1.6	3	1.6	2.4	4.0	5	0.9	0.6	1.5	3	
2.1	6	1.9	3.1	5.0	6	0.6	0.6	1.2	1	
1.4	1	1.9	1.9	3.8	4	0.8	0.7	1.5	5	
1.5	2	1.9	1.8	3.7	3	0.6	1.0	1.6	6	
2.0	—	2.0	2.4	4.4	—	1.0	0.6	1.6	—	

由 る 工 法 の 比 較

固形ゴム輪帶（夏期）							鐵輪帶(各季節平均)			摘 要
絶對最大		最大平均		平均			平均			
變形量 (mm)	%	單位變形量 (mm/100t)	%	單位變形量 (mm/100t)	%	順位	單位變形量 (mm/100t)	%	順位	
6	97	0.17	100	0.05	71	3	0.32 [1]	133 [1]	7 [1]	1) 壓壓せざる封緘工の變形を含む
6	97	0.27	159	0.14	200	8	0.24	100	5	
5	81	0.08	47	0.04	57	2	0.20	83	2	
10	161	0.22	129	0.11	157	7	0.37	154	8	
5	81	0.19	112	0.09	129	6	0.25	104	6	
6	97	0.18	106	0.09	129	5	0.18	75	1	
8	129	0.20	118	0.06	86	4	0.22	92	4	
4	65	0.06	35	0.00	0	1	0.21	87	3	
6.2	100	0.17	100	0.07	100	—	0.24	100	—	

第28表 鐵輪帶に由る

I, IV, V, 及 VII は夫々所屬試驗番號を

區域	工法大要					IV 秋期乾燥路面		
	層厚 (cm)	層數	アスハルト透入單位量(kg/m²) 厚 1cm	全層厚	主骨材	單位變形量 (mm/100t)	順位	%
1	8	1	1.53	12.2	L	0.21	1	66
2	5	1	2.44	12.2	L	0.32	4	100
3	6.5	1	1.85	12.0	L	0.27	2	84
4	5	1	2.40	12.0	H	0.28	3	87
5	8	2	1.71	13.7	L	0.39	7	122
6	5	2	2.55	12.7	L	0.34	5	106
7	6.5	1	1.56	10.1	L	0.42	8	131
8	5	1	1.54	7.7	L	0.36	6	112
平均	—	—	—	—	—	0.32	—	100
比率	—	—	—	—	—	1.00	—	—

第29表 基礎種別

工法大要				種別	(1) コンクリート基礎			(2)
層厚 (cm)	層數	アスハルト透入單位量 (kg/m²) 厚 1cm	全層厚		區域番號	單位變形量 (mm/100t) 最大平均	平均	區域番號
8	1	1.46~1.53	11.7~12.2	空氣入輪帶	No. 1	1.51	1.09	No. 12
				固形ゴム輪帶	〃	0.17	0.05	〃
				鐵輪帶	〃	0.32	0.25	〃
				平均	〃	—	—	〃
6.5	1	1.54~1.56	10.0~10.1	空氣入輪帶	No. 7	1.62	1.27	—
				固形ゴム輪帶	〃	0.20	0.06	—
				鐵輪帶	〃	0.22	0.20	—
				平均	〃	—	—	—
8	2	1.64~1.71	13.1~13.7	空氣入輪帶	No. 5	1.88	1.35	—
				固形ゴム輪帶	〃	0.19	0.09	—
				鐵輪帶	〃	0.19	0.19	—
				平均	〃	—	—	—
平均					—	—	—	—

優秀なる成績を示さず，堅固なる基礎上に於ては層厚は 6.5cm にて足るもの>如し．鐵輪帶に由る變形量のみに就いて比較すれば第8圖の如く，層厚 5cm の3工種中主骨材軟質なる No. 4 最大にして No. 2 最小である．No. 2 は No. 8 に比しアスハルト透入量 65% 多い割合に變形量の差尠く寧ろ No. 8 の方經濟的であらう．厚 6.5cm の 2 層

平均單位變形量の比較

示し何れも速度 3 哩/時 4 時間の結果とす

V 秋期濕潤路面			VII 冬期乾燥路面 0°C～−5°C			平均		
單位變形量 (mm/100t)	順位	%	單位變形量 (mm/100t)	順位	%	單位變形量 (mm/100t)	順位	%
0.05	2	42	0.71	8	237	0.32	7	133
0.21	7	175	0.19	4	63	0.24	5	100
0.04	1	33	0.30	6	100	0.20	2	83
0.31	8	258	0.52	7	173	0.37	8	155
0.08	4	67	0.27	5	90	0.25	6	104
0.08	3	67	0.14	2	47	0.18	1	75
0.12	6	100	0.13	1	43	0.22	4	92
0.08	5	67	0.17	3	57	0.21	3	88
0.12	—	100	0.30	—	100	0.24	—	100
0.37	—	—	0.94	—	—	—	—	—

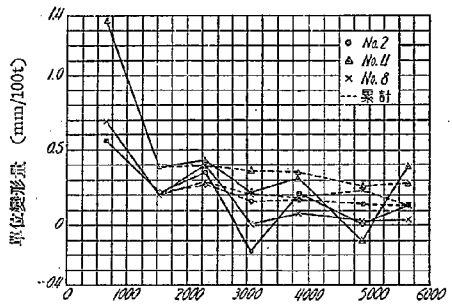
に　由　る　比　較

碎石基礎				(3) 砂利基礎					摘要
單位變形量 (mm/100t)		(1) に對する比率		區域番號	單位變形量 (mm/100t)		(1) に對する比率		
最大平均	平均	最大平均	平均		最大平均	平均	最大平均	平均	
2.41	1.83	1.60	1.68	No. 10	5.16	4.10	3.44	3.76	×印は當該試驗前破壞せるもの
0.26	0.09	1.53	1.80	〃	×	×	—	—	
0.29	0.24	0.91	0.96	〃	×	×	—	—	
—	—	1.35	1.48	〃	—	—	3.44	3.76	
—	—	—	—	No. 9	3.42	2.76	2.11	2.17	
—	—	—	—	〃	1.61	1.17	8.00	19.50	
—	—	—	—	〃	×	×	—	—	
—	—	—	—	〃	—	—	5.05	10.83	
—	—	—	—	No. 11	2.56	2.20	1.36	1.63	
—	—	—	—	〃	0.74	0.35	3.89	3.89	
—	—	—	—	〃	0.24	0.22	1.26	1.16	
—	—	—	—	〃	—	—	2.17	2.23	
—	—	1.35	1.48	—	—	—	3.55	5.61	

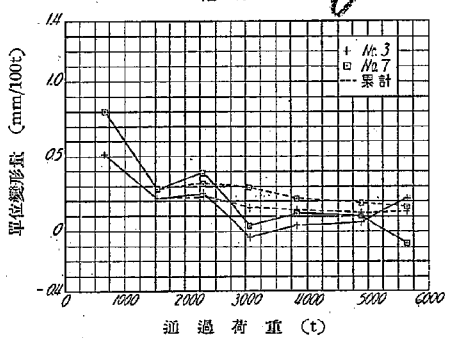
中 No. 3 は No. 7 に比し明に優つて居るが其差僅少にして且荷重の增加と共に兩者接近しアスファルト透入量多き No. 3 を經濟的とは認められぬ.

基礎種別の比較　砂利道を基礎とせるものは耐力著しく弱く，空氣入ゴム輪帶のみにても尙相當交通量僅に 65,532 廻にして破壞せるものあり，耐力最大なるものと雖も（No. 10

A 層厚 5cm



B 層厚 6.5cm



第 8 圖 鐵輪帶に由る變形量に基く工法の比較

の一少部分）尙相當交通量 234,867 廻に過ぎず．碎石道を基礎とせるものは基礎支持力の不足によつて破壞せるものなく其耐力混凝土基礎を有するものに異らない．器同種の工種を選び基礎種別に由る路面の變形量を比較すれば第 29 表の如く，碎石道を基礎とせるものは混凝土を基礎とせるものに比し，鐵輪帶に由る變形量は却て小である．

主骨材の材質の比較 主骨材は僅に葛生石灰岩と初狩安山岩との 2 種のみを使用したが其變形量を對比すれば第 30 表の如くにしてゴム輪帶に對しては主骨材の材質の相違による影響を認め難いが，鐵輪帶に對する變形量は軟質なる初狩安山岩の方遙に多く 2.38 倍に達し，兩種石質試驗の結果に由る磨損率の差 15%，修正磨損率の差 6%，靱性の差 13%，硬度の差 12% 等に比し著しく大なる影響あるを示して居る．

第 30 表 主骨材の材質に由る比較

區域番號	No. 2			No. 4			比率			摘要
種別 / 輪帶	石灰岩			軟質安山岩			No. 4 の No. 2 に對する			
	絶對最大變形量 (mm)	最大單位變形量 (mm/100t)	平均單位變形量 (mm/100t)	絶對最大變形量 (mm)	最大單位變形量 (mm/100t)	平均單位變形量 (mm/100t)	絶對最大變形量	最大單位變形量	平均單位變形量	
空氣入ゴム	14.5	0.47	0.77	19.0	0.60	0.67	1.31	1.28	0.87	鐵輪帶荷重果計の結果による
固形ゴム	6.0	0.26	0.14	10.0	0.22	0.11	1.67	0.85	0.79	
鐵輪帶	7.6	0.40	0.13	16.0	0.95	0.28	2.10	2.38	2.15	

主骨材の大さの比較 主骨材の最大寸法を層厚と等く 80mm とする No. 12 工種と，65 mm とする No. 14 とを比較すれば第 31 表の如く單位變形量に於て No. 12 の方 52%多

く明に 65mm の方優れるを示して居る．主骨材最大寸法を 50mm とせる場合は 2 層に分つて施工せる爲厳密なる比較を行ひ難いが耐力減少の傾向は認められぬ．

第 31 表　主骨材寸法による比較

種別	No. 12 主骨材寸法(mm) 80～50	No. 14 主骨材寸法(mm) 65～40	No. 12 の No. 14 に對する比率
混合輪帶に由る變位量總和 (mm) (IV～VII)	60.0	53.4	1.12
鐵輪帶に由る單位變形量 (mm/100t) (IV～VII)	0.35	0.23	1.52

5. 車輪種別に由る比較

輪帶種別の比較　本試驗に於ては施工に際し重ローラーに依る輾壓を行はなかつた爲第 1 回試驗は輾壓作用を代行せる結果となり，且氣溫高い時季なりし爲最も單位輪壓の小なる空氣入ゴム輪帶を用ひしも變形量却つて最大であつて之を以て其後比較的低溫時に施行せる他種輪帶の試驗結果と比較するを得ない．各種輪帶を混用せる試驗に於ても鐵輪帶の反作用に由り隆起の影響あるを以て各種輪帶の種別による變形量の比較は容易に眞相を明にし難い．今輾壓作用及鐵輪の反作用等の影響最も少き第 7 回試驗の結果のみに依つて比較すれば第 32 表の如くにして，空氣入ゴム輪帶に對し固形ゴム輪帶は 1.22～2.00 倍，鐵輪帶は2.50, ～7.5 倍である．耐力に對する比較は明にするを得ない．

第 32 表　輪帶種別に由る路面變形量の比較

1. 混凝土基礎を有する 8 工種の平均値
2. 氣溫零度以下の試驗の結果

輪帶種別	平均單位變形量		變位量	
	mm/100t	比率	Σ(±)mm	比率
空氣入ゴム輪帶	0.04	1	1.04	1
固形ゴム輪帶	0.08	2	1.27	1.22
鐵輪帶	0.30	7.5	2.62	2.50

車輪の作用別比較　本試驗に於ては全車輪 8 個の內 4 個を働輪として殘 4 個の從輪を牽引せしめし故牽引力平等とすれば各働輪は略自重に等しき從輪を牽引することゝなり，通常の自動車の働輪に比し其自重に對する牽引荷重大であるから路面に對する影響も從輪に比し顯著な筈であるが，本試驗の結果では其相違明瞭ならず，變形量を比較するに第 33 表の如く僅にアスハルト種路面に於て働輪の方 9～24% 大なるのみである．

第 33 表 輪帶の作用別に由る路面變形量の比較

番號	種別		單位變形量 (mm/100t) 空氣入ゴム輪帶 働輪	從輪	比率	固形ゴム輪帶 働輪	從輪	比率
1	アスハルト	平均	1.38	1.26	1.09	0.08	0.07	1.14
		最大平均	1.96	1.58	1.24	0.27	0.22	1.23
2	タール	平均	1.70	1.56	1.09	0.16	0.18	0.89
		最大平均	1.90	1.89	1.01	0.31	0.36	0.86
3	アスハルト乳劑	平均	1.18	1.18	1.00	0.09	0.16	0.56
		最大平均	1.53	1.34	1.14	0.23	0.18	1.28
平均		平均	1.42	1.33	1.07	0.11	0.14	0.79
		最大平均	1.80	1.60	1.12	0.27	0.25	1.08

VI 結論

斯種の鋪裝は II に詳說せるが如く材料，構造及工法に由り其種類極めて多く，本試驗は其內主としてアスハルト透入マカダムの一部を試驗せしに止まり併も其荷重總量は全工種の耐力を明にする域に達せざるが故に，本試驗の結果に由つて斯種工法の比較を詳にするを得ないが本試驗終了までに得たる上述の結果を要約すれば次の如くである．

1. 本試驗の荷重は輪帶幅 1cm につき 180kg に達し，且嚴密に各自同一軌路を反覆通過し自然輾壓に由る自應的作用なき爲破壞力は通常の車輪に比し遙に大なるべきに拘はらず，混凝土基礎を有するものは相當交通量（二車線道路に換算せる交通量）300,000 廻に達するも破壞するに至らず．

2. 通常の標準工法に則り併も重ローラーの輾壓なくして專ら蛸搗きに由つて造成せられた碎石道はアスハルト透入マカダム鋪裝の基礎としては堅固な混凝土基礎と同一視し得る．

3. 乾燥時に於て地床示數 8.7 kg/cm³ を有する砂利道（乾燥せる通常の在來砂利道の程度）でも土量 11.4 % を有する場合には，假令其路床は排水完全にして且浸水によつて其支持力を減じないものであつても 1 日降水量 10mm 程度の雨量に由つて其支持力激減するから，斯種の基礎に對しては鋪裝と緣石又は側溝側壁等との間隙を防水的にする必要がある．之等の用意なくして單に表層の工法によつて層厚 8cm 以內のアスハルト透入マカダム鋪裝の耐力を相當交通量 300,000 廻に達せしむるは困難である．

4. 針度 75 度のアスハルトを使用すれば其單位透入量層厚 1cm につき 2.55kg/m² に

達するもゴム輪帶に對しては氣溫 31°C に於ても安定を失つて破壞する虞はない.

5. 斜度 75 度のアスハルトを使用し其單位透入量を層厚 1cm につき 1.53kg/m² とするも冬期氣溫 −5°C に於てもアスハルト透入量過少なりとは認められぬ.

6. 基礎良好ならば相當交通量 300,000 疋以內に於てはアスハルト透入マカダム鋪裝の層厚は 6.5cm も 8.cm も大差なし.

7. 混凝土基礎上に層厚 5cm のアスハルト透入マカダム 4 種を試驗したが相當交通量 300,000 疋にて破壞せるものなく, 堅固なる基礎上に於ては層厚 5cm にても過少ならざるが如し.

8. 層厚 8cm のアスハルト透入マカダムの主骨材最大寸法は尠くとも基礎堅固なる場合に於ては層厚と等しい 8cm よりも 6.5cm の方得策である.

9. アスハルト透入マカダム鋪裝に對する主骨材の材質の影響は鐵輪帶に就ては現行材料試驗標準方法の表示する相違よりも甚大である.

10. アスハルト透入マカダム鋪裝は 2 層に分けて施工すれば其耐力, 防水性, 表面粗鬆の度等を均一にする効果があり, 從つて砂利基礎に對しては有效であるが果して經濟的なりや否や疑問である. 尠くとも堅固な基礎上に於ては其要がない.

11. タール透入マカダムは本試驗の如き施工方法では夏期に於ける安定不充分であるが混合マカダム工法によれば些少の修理費を用ひれば其耐力他のアスハルト透入マカダムに匹敵し, 氣溫 −5°C までは低氣溫の爲特に損傷を促進せられる傾向はない.

12. アスハルト乳劑透入マカダムは本試驗の施工方法では本試驗の鐵輪には抵抗し得ない. 尠くとも層厚 8cm の場合本施工法に於ては主骨材寸法 80～50mm は適當ならざるが如し.

13. 斯種の鋪裝に於ては路面の濕潤なる爲の被害の程度は工法に由つて大差があり必ずしも常に乾燥狀態に比して磨耗が促進されるとは限らない.

土木試驗所出版圖書

報告

第一號	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．瀝青質材料並瀝青質混合物に關する研究第一報	大正十四年三月發行
第二號	瀝青質材料針度に就て	大正十五年一月發行
第三號	「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	同　二月發行
*第四號	急硬セメントに關する試驗報告	同　五月發行
*第五號	簡易鋪裝に關する試驗報告	昭和二年三月發行
*第六號	混凝土及鐵筋混凝土抗扭力試驗報告	同　五月發行
*第七號	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	同　七月發行
*第八號	瀝青質材料標準試驗方法．　石材類標準試驗方法	同　十月發行
*第九號	急硬性「セメント」に關する試驗．「ソリデチット」の耐壓强度に關する試驗．「ブロック」に關する試驗．高知縣黑瀧川產砂に關する試驗．多摩川產砂利及砂に關する調查．石材類試驗成績	同　十一月發行
*第十號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第一）道路橋振動試驗	昭和三年三月發行
*第十一號	瀝青滲透ブロック試驗成績．鋪裝工事用サーフェス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗．常願寺川產砂に關する試驗	同　七月發行
*第十二號	アスファルト・ブロック試驗成績．各種アスファルト・ブロック比較試驗成績．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．瓦斯鹽及骸炭鹽タール及ピッチに關する試驗成績．コール・タール・ピッチ中の純瀝青に就て，大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化．石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす火山灰及石粉の影響	昭和四年一月發行
第十三號	ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗．橋梁用鋼板强度試驗．舊廳橋鐵材の腐蝕に關する調查．鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試驗	同　五月發行
*第十四號	瀝青乳劑及ピチュマルス鋪裝に關する試驗瀝青滲透ブロックに關する試驗瀝青質材料の滲透性に關する試驗瀝青質材料の粘度及膠質係數に關する試驗	同　十二月發行
*第十五號	北上川降開式轉動堰模型試驗．電氣溶接法による鐵筋の接合．現場打混凝土の耐壓試驗報告	昭和五年二月發行
*第十六號	路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第二）．瀝青滲透ブロック鋪裝試驗．工事用石材試驗成績	同　五月發行
*第十七號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て　（第三）	同　五月發行

*第十八號	混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試驗．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)．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．鐵筋混凝土道路橋設計資料．各種土木工事用材料試驗成績	昭和五年十月發行
*第十九號	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）	同　十一月發行
第二十號	東京山手赤土の彈性的性質に關する試驗(一)．基礎の沈下量算定法(一)．岩淵水門に關する水理試驗．單鉸拱橋模型試驗．國道鐵筋混凝土丁桁橋標準設計案	昭和六年六月發行
第二十一號	背水曲線の一般的解法．單鉸拱の振動に關する理論竝に實驗混凝土鋪裝の繼目に關する試驗．河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす石粉の影響．瀝青乳劑試驗成績	同　十二月發行
第二十二號	地震時土壓の實驗的研究．混凝土鋪裝繼目用エラスタイト試驗．高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試驗．基礎の沈下量算定法(第二)．新土壓計算圖表．	和昭七年五月發行
第二十三號	簡易鋪裝に關する實地比較試驗．鋼矢板試驗．大和川筋龜ノ瀨地辷に關する調査(第一)	同　七月發行
第二十四號	道路の背向曲線の設計に就て．阻柱に關する試驗．乳劑の粘度に就て．府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案．碎石の磨損率に關する一試驗．三陸津浪調査報告．本邦產鋪裝用石材(附錄)．	昭和八年六月發行
第二十五號	本邦鋪裝用タールの性質に就て．橫溢流堰流量試驗．擁壁の安定增大に關する一提案及之に關する試驗．砂利層の支持力に關する試驗(第一報)．鋼矢板試驗(續)．エタニツト・パイプ試驗．	同　十一月發行
第二十六號	地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法．田中村調節混溢流堰に關する水理試驗．瀝青鋪裝切取試驗體の性質．道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第1報)．自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其一)	昭和九年三月發行

其他 ¥2.19

本邦道路橋輯覽	大正十四年十二月發行
本邦道路橋輯覽（增補）	昭和三年三月發行
第六回國際道路會議に關する報告書	昭和七年四月發行
土木工事用材料標準試驗方法	昭和七年十二月發行

（*印は殘部なし）

昭和九年六月二十日　印刷
昭和九年六月三十日　發行

内務省土木試驗所
東京市本郷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　守岡功
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二

印刷所　出版印刷株式會社本所分工場
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二

				円	
姓代	表紙	組版代	1頁	1.50	1.50
	本文	〃	178	2.20	391.60
	字型説明	〃	8	1.50	12.00
	校正図説明	〃	1	1.50	1.50
	表紙	印刷			