

となるものと考えられる。

6. 結 び

(i) ひびわれ発生モーメントの大略の値は(1)式で計算できる。

(ii) ひびわれ発生モーメントより大きいモーメントが作用したときのひびわれ深さとモーメントの間には図-1に示した関係がある。

(iii) モーメント  $M$  がひびわれ発生モーメントより大きいときは(3)式でひびわれ深さを計算することができる。またひびわれ深さを測定して作用したモーメントを推定するときは(4)式を用いればよい。

この実験は昭和 28 年度文部省科学研究費課題番号

55124 によつて行つた。ここに深謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 例えば Handbuches für Eisenbetonbau Entwicklungsgeschichte Versuche und Theorie des Eisenbetons.
- 2) S.D. Lash : "Ultimate Strength and Cracking Resistance Lightly Reinforced Beams" Journal of the ACI, Feb. 1953.
- 3) Mörsh : Heft 13 des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton 1912.
- 4) 岡田 清 : "鉄筋コンクリート桁の龜裂モーメント" セメント技術年報 1950, 土木技術第 5 巻 第 4 号 (昭.29.8.17)

## 剛性載荷板荷重による砂層中の鉛直 増加土圧の分布について\*

正 員 市 原 松 平\*\*

### ON THE DISTRIBUTION OF VERTICAL PRESSURE THROUGH SAND FILLS CAUSED BY RIGID LOADS

(JSCE April 1955)

Matsuhei Ichihara, C.E. Member

**Synopsis** Vertical pressures just underneath the rectangular or circular rigid loads, i. e. contact pressures of rigid plates, as well as these at the bottom of sand fills are measured, and the behaviours of contact pressure and the distributions of vertical pressure due to the rigid load adjacent the rigid vertical wall are discussed.

**要 旨** 剛性の載荷板を、砂の表面に置いたときの、載荷板の底面反力分布並びに、砂槽下面の鉛直増加土圧を測定し、底面反力分布の様相並びに不動壁の存在する場合の載荷による土中の鉛直増加土圧分布について考察した。

1. 緒 言

筆者は従来、載荷重による壁面に作用する横方向増加土圧に関する一連の実験を行つてきたが<sup>1,2,3)</sup>、これら増加土圧値は、Fröhlich の式に鏡像の原理を適用することによつて求められるようである。そのためにまづ、載荷重による鉛直方向増加土圧についても実験を行つてみて、その結果より集中係数  $\nu$  の値、底面反力分布の様相、地中応力分布などを調べてみる必要となつた。そこで横方向の実験と合わせるために、載荷板は矩形、円形の剛性板を用い、その載荷板に土圧計を1個ないし7個取付けて、底面反力分布を測定すると同時に、砂槽の下面に取付けた2個の土圧計で砂槽下面の圧力を測定した。

もちろん Fröhlich の式は半無限体内の圧力を示すもので、壁で仕切られた場合には、当然異なつた結果を与えると考えられるのであるが、これらの場合について特に考察した。

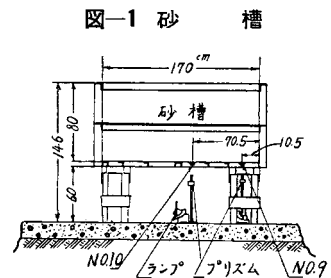
2. 実験装置その他

i) 砂槽 載荷板底面の反力分布、鉛直増加土圧の測定はともに土圧実験に使用した軟鋼製砂槽(内法長さ 170 cm × 巾 73

cm × 高さ 80 cm)で行つた。この砂槽は鋼の厚さが 8.5 mm で、山型鋼と溝型鋼とで補強し、高さ 60 cm の軟鋼製台上に乗せた。鉛直増加土

圧測定のために、底板の土圧計取付け用の孔2個を使用した。その位置はいずれも底板の中央線上で、図-1に No.9, No.10として示した。

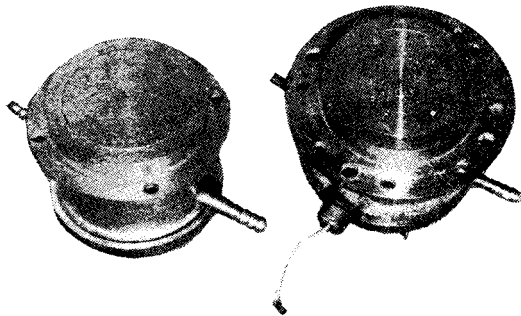
ii) 土圧計 底面反力測定においては、ゴールドベ



\* 第4回応用力学連合講演会で講演

\*\* 運輸省運輸技術研究所港湾施設部構造研究室

写真-1 ゴールドベック改良型土圧計



ック改良型土圧計<sup>4)</sup> (港施 1 型, 2 型, 写真-1) を, 鉛直増加土圧測定には光挺子式土圧計<sup>4)</sup> (図-2, 写真-2) を使用し, これらの受圧板をそれぞれ取付面につらいち (flash mounting) になるように取付け, 受圧板をおおつてオイルシルクを張付け, 水や砂が受圧板の間隙に入ること

図-2 光挺子式土圧計原理

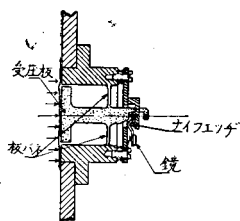
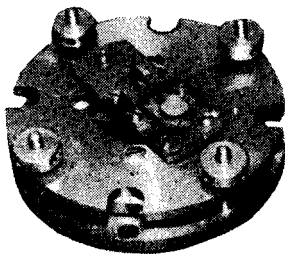


写真-2 光挺子式土圧計



防いだ。ゴールドベック改良型土圧計は判別方式<sup>5)</sup> によつて土圧を測定するもので, 受圧板の直径は 50 mm で接点を切るに要する受圧板の変位量は大体 1/100mm である。光挺子式土圧計 (平衡型) の受圧板の直径は 30 mm で, 受圧板の変位を約 2 800 倍に拡大して測定した。No. 9, 10 ともに同じバネ常数をもつた土圧計を使用した

が, 土圧 10 g/cm<sup>2</sup> が受圧板の変位量 1/1 000 mm に相当した。受圧板の累計移動量は荷重強度  $q=200 \text{ g/cm}^2$ , 砂深 5 cm で約 1/25 mm にまで増大したが, 逐次荷重を載荷していつた場合の最大変位量は載荷のたびごとに 1/120 mm 程度であつた。  
iii) 載荷板, 裏込砂 底面反力測定の際の載荷板は円形載荷板 (直径  $d=27.6 \text{ cm}$ , 土圧計 2 個), 矩形載荷板  $30 \times 40 \text{ cm}^2$  (土圧計 7 個),  $15 \times 20 \text{ cm}^2$  (土圧計 1 個) を用い, いずれも砂層厚を 60 cm とし荷重はその上に写真-3 のように重錘を積み重ねた ( $q=100 \sim 300 \text{ g/cm}^2$ )。鉛直増加土圧の測定では, 直径 20 cm の円形と  $15 \times 20 \text{ cm}^2$  の矩形載荷板を用いた。使用した砂は豊浦標準砂で, これを dry loose, dry dense,

写真-3 円形載荷板の底面反力測定

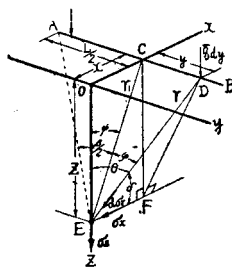


submerged, drained の状態で層の厚さを種々にかえて実験したが, loose sand は砂を静かに水平にしきならしたもの, dense sand は砂層 5 cm ごとに  $20 \times 30 \text{ cm}^2$  の板に  $q=100 \text{ g/cm}^2$  の静荷重を加えて何回も締め固めたもの, submerged sand は dry loose sand に注水後に 1 回排水してからさらに注水したもの, drained sand は砂槽の底から排水, 注水を繰返えした後に排水したものである。鉛直増加土圧測定では載荷終了後に, 受圧板まで砂を取り払つて再び砂の填充を行つた。なお測定は土圧計の載荷前後の読みの差をもつて載荷による増加土圧とした。砂槽内の砂を取り払つて受圧板を露出したとき, 像の読は正しく復元した。

3. Fröhlich の式の積分

図-3 で AB を地表面上に作用する長さ L なる等分布線荷重とする。線荷重 AB を 2 等分する土中の鉛直面内の任意の一点を E とするとき, AB によつて E に生ずる鉛直増加土圧を  $\sigma_z$ , 平均線荷重強度を  $\bar{q}$  とし, かつ  $K_1 = \sigma_z / \bar{q}$  とするとき, まづ  $K_1$  の値を求めらる。

図-3 等分布線荷重による土中の一点 E における応力



今 E 点を通る鉛直線を z 軸とし, 地表面との交点を原点とし, y 軸を AB に平行に図のごとく座標軸をとれば, 線荷重 AB 中の任意の小部分  $\bar{q} dy$  によつて E 点に生ずる主応力  $d\sigma_r$  は Fröhlich 式から次式で示される。

$$d\sigma_r = \frac{\nu \bar{q} dy}{2\pi r^2} \cos^{\nu-2} \theta \dots\dots\dots (1)$$

$\nu$ : 集中係数,  
 $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$

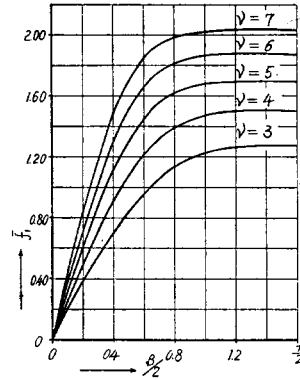
鉛直並びに  $x$  方向の応力は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= 2 \int_{\varphi=0}^{\frac{\beta}{2}} d\sigma_r \cdot \cos^2 \theta \\ \sigma_x &= 2 \int_{\varphi=0}^{\frac{\beta}{2}} d\sigma_r \cdot \cos^2 \delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

しかるに 図-3 で  $\cos \theta = \cos \varphi \cdot \cos \psi$ ,  $\cos \delta = \cos \varphi \cdot \sin \psi$  なる関係があるから, 式(1), (2) より次式をうる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= \frac{\nu \bar{q}}{\pi r_1} \cos^{\nu} \psi \int_{\varphi=0}^{\frac{\beta}{2}} \cos^{\nu} \varphi d\varphi \\ &= \bar{q} \cdot \frac{\bar{f}_1}{2} \cdot \frac{z^{\nu}}{r_1^{\nu+1}} \\ \sigma_x &= \frac{\nu \bar{q}}{\pi r_1} \sin^2 \psi \cos^{\nu-2} \psi \int_{\varphi=0}^{\frac{\beta}{2}} \cos^{\nu} \varphi d\varphi \\ &= \bar{q} \cdot \frac{\bar{f}_1}{2} \cdot \frac{x^2 z^{\nu-2}}{r_1^{\nu+1}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

図-4  $\bar{f}_1$  と  $\beta/2$  との関係



〔\*よつて鉛直方向では

$$K_l = \frac{\sigma_z}{\bar{q}} = \frac{\bar{f}_1}{2} \cdot \frac{z^{\nu}}{r_1^{\nu+1}} \dots\dots\dots (4)$$

ただし,  $r_1^2 = x^2 + z^2$ ,  $\cos \varphi = y/r_1$ ,  $\beta/2 = \tan^{-1} L/2r_1$

$$\nu: \text{奇数 } \bar{f}_1 = \frac{2\nu}{\pi} \left(\frac{1}{2}\right)^{\nu-1} \left\{ \frac{\sin \nu \frac{\beta}{2}}{\nu} + \frac{\nu C_1}{\nu-2} \sin(\nu-2) \frac{\beta}{2} + \frac{\nu C_2}{\nu-4} \sin(\nu-4) \frac{\beta}{2} + \dots \right. \\ \left. + \frac{1}{3} \nu C_{\nu-3} \sin \frac{3}{2} \beta + \nu C_{\nu-1} \sin \frac{\beta}{2} \right\}$$

$$\nu: \text{偶数 } \bar{f}_1 = \frac{2\nu}{\pi} \left(\frac{1}{2}\right)^{\nu-1} \left\{ \frac{\sin \nu \frac{\beta}{2}}{\nu} + \frac{\nu C_1}{\nu-2} \sin(\nu-2) \frac{\beta}{2} + \frac{\nu C_2}{\nu-4} \sin(\nu-4) \frac{\beta}{2} + \dots + \frac{1}{4} \nu C_{\nu-4} \sin 2\beta \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \nu C_{\nu-2} \sin \beta + \frac{1}{2^2} \nu C_{\nu/2} \beta \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$\bar{f}_1$  は  $\nu$  と  $\beta$ (rad.) との函数で(図-4), 無限に長い線荷重に対しては  $\beta = \pi$  において求められる。

\*\* (3) の  $\bar{q}$  の代りに  $3/2\{1 - (2y/L)^2\}\bar{q}$  を代入して求められる。

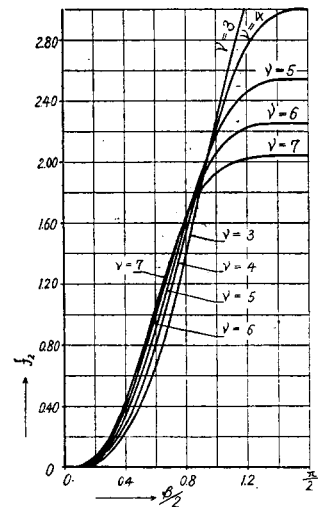
AB の線荷重強度が放物線分布をなすときは式\*\*

$$K_l = \frac{\sigma_z}{\bar{q}} = \frac{3\nu}{2\pi} \frac{z^{\nu}}{r^{\nu+1}} \int_{\varphi=0}^{\frac{\beta}{2}} \cos^{\nu} \varphi d\varphi - \frac{6\nu}{L^2} \frac{z^{\nu}}{\pi r_1^{\nu-1}} \int_{\varphi=0}^{\frac{\beta}{2}} \sin^2 \varphi \\ \times \cos^{\nu-2} \varphi d\varphi = \frac{3}{4} \bar{f}_1 \frac{z^{\nu}}{r_1^{\nu+1}} - \bar{f}_2 \frac{1}{2L^2} \frac{z^{\nu}}{r_1^{\nu-1}} \dots\dots\dots (6)$$

ただし,  $\bar{f}_2 = \frac{12\nu}{\pi} \int_{\varphi=0}^{\frac{\beta}{2}} (\cos^{\nu-2} \varphi - \cos^{\nu} \varphi) d\varphi$

$$\nu: \text{奇数 } \bar{f}_2 = \frac{3\nu}{\pi} \left(\frac{1}{2}\right)^{\nu-3} \left\{ -\frac{\sin \nu \frac{\beta}{2}}{\nu} + \frac{\sin(\nu-2) \frac{\beta}{2}}{\nu-2} (2^2 - \nu C_1) \right. \\ \left. + \frac{\sin(\nu-4) \frac{\beta}{2}}{\nu-4} (2^2 - \nu C_1 - \nu C_2) + \frac{\sin(\nu-6) \frac{\beta}{2}}{\nu-6} (2^2 - \nu C_2 \right. \\ \left. - \nu C_3) + \dots + \frac{\sin \frac{3}{2} \beta}{3} (2^2 - \nu C_{\nu/2-5} - \nu C_{\nu/2-3}) \right. \\ \left. + \sin \frac{\beta}{2} (2^2 - \nu C_{\nu/2-3} - \nu C_{\nu/2-1}) \right\}$$

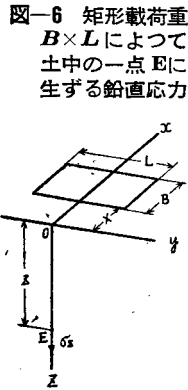
図-5  $\bar{f}_2$  と  $\beta/2$  との関係



$$\nu: \text{偶数 } \bar{f}_2 = \frac{3\nu}{\pi} \left(\frac{1}{2}\right)^{\nu-3} \left\{ -\frac{\sin \frac{\nu}{2}}{\nu} + \frac{\sin(\nu-2)\frac{\beta}{2}}{\nu-2} (2^{2-\nu} C_1) + \frac{\sin(\nu-4)\frac{\beta}{2}}{\nu-4} (2^{2-\nu-2} C_1 - \nu C_2) \right. \\ \left. + \frac{\sin(\nu-6)\frac{\beta}{2}}{\nu-6} (2^{2-\nu-2} C_2 - \nu C_3) + \dots + \frac{\sin \beta}{2} \left( 2^{2-\nu-2} C \nu^{\frac{\nu-4}{2}} - \nu C \nu^{\frac{\nu-2}{2}} \right) \right. \\ \left. + \beta \left( \nu^{-2} C \nu^{\frac{\nu-2}{2}} - \frac{1}{2^2} \nu C \frac{\nu}{2} \right) \right\} \dots \dots \dots (7)$$

$\bar{f}_2$  は  $\nu$  と  $\beta$  との函数で、**図-5** に示す。

次に矩形荷板  $B \times L$  が **図-6** のごとく  $y$  軸に平行に、 $x$  軸に对称に置かれている場合、 $z$  軸上の一点の鉛直増加土圧を  $\sigma_z$ 、平均荷重強度を  $q$ 、かつ  $K_z = \sigma_z/q$  とすれば、矩形荷板を  $y$  軸に平行な帯状荷重に分割して、その帯状荷重の中心に線荷重が作用するとして、それらの線荷重を合成して求める。これは有限長の線荷重では積分不能であるためである。いま  $dx$  を帯状荷重の巾とすれば、底面反力が等分布をなすとき、



$$K_z = \frac{\sigma_z}{q} = \frac{x-X+B}{\sum_{x=X}^{x=X+B}} \frac{\bar{f}_1}{2} \frac{z^\nu}{r_1^{\nu+1}} dx \dots \dots \dots (8)$$

底面反力が両辺に平行な断面において、いずれも放物線分布をなす場合を考えると、

$$K_z = \frac{\sigma_z}{q} = \frac{x-X+B}{\sum_{x=X}^{x=X+B}} \left\{ \frac{3}{4} \bar{f}_1 \frac{z^\nu}{r_1^{\nu+1}} - \bar{f}_2 \frac{1}{2L^2 r_1^{\nu-1}} \right\} \left\{ \frac{3}{2} - \frac{6}{B^2} \left( x-X - \frac{B}{2} \right)^2 \right\} dx \dots \dots \dots (9)$$

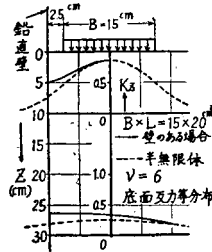
以上はいずれも半無限体内の応力であるが、土中の一方の側が、摩擦のない不動の鉛直壁で仕切られている場合の荷重による鉛直増加土圧を  $p_z$  とすれば、 $p_z$  は S. D. Carother<sup>6)</sup> が弾性体の裏込をもつた壁に用いた鏡像の原理と同様の考えを Fröhlich の式にも適用できるはずである。そうすれば、 $p_z = \sigma_{z1} + \sigma_{z2}$  で  $\sigma_{z1}$  は実際の荷重により、 $\sigma_{z2}$  は壁に对称なる位置にある像の荷重によつて、いずれも半無限体内の一点に引き起される鉛直応力である。従つて

$$K_z = \frac{p_z}{q} = K_{z1} + K_{z2} \dots \dots \dots (10)$$

$K_{z1}$ 、 $K_{z2}$  は矩形荷重の場合、(8) または (9) 式より求められる。鉛直壁の  $K_z$  におよぼす影響の一例を **図-7** に示した。

4. 測定結果並びに考察

**図-7** 鉛直壁の存在による鉛直増加土圧分布の変化



i) 底面反力分布 直径 27.6cm の円形荷板を dry dense sand ( $\rho = 1.6 \text{ g/cm}^3$ ) 上に置いた場合の測定値の一例は、表-1 に示した。

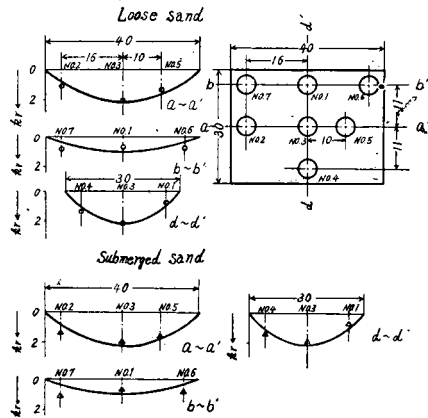
$p_r$  は底面反力で  $k_r = p_r/q$  である。この値によると荷重強度を増大させると、中央の反力の増加量が増すが、荷重の偏心による荷板の傾きによつて、かなり変化する。表-1 は端部(中央より 9.5 cm) にいくぶん偏心したものであるが、大体この荷重と裏込砂の条件において、底面反力は実用上二次放物面分布をしているとみなすことができる。

**表-1** 円形荷板 ( $d=27.6 \text{ cm}$ ) の底面反力の測定値

$q$	153 gr/cm <sup>2</sup>		232 gr/cm <sup>2</sup>	
$p_r, k_r$	$p_r(\text{gr/cm}^2)$	$k_r$	$p_r(\text{gr/cm}^2)$	$k_r$
中央	306	2.00	490	2.11
中央より 9.5 cm (端部)	209	1.37	284	1.22

矩形荷板については、Terzaghi その他の研究<sup>7)</sup> によれば、有限な巾をもつた無限に長い二次元荷重

**図-8** 30 x 40 cm<sup>2</sup>,  $q=200 \text{ g/cm}^2$  による底面反力分布



の場合には、断面方向に放物線分布で与えられる。星埜博士によると<sup>8)</sup>、その分布は  $q/q_b$  によつて変化する(ここに  $q_b$  は破壊荷重強度)。

dry loose sand, submerged sand 上に、 $B \times L = 40 \times 30 \text{ cm}^2$  を置き、 $q = 200 \text{ g/cm}^2$  による測定値の一例を 図-8 に示す。これによると、底面反力分布は大体において、両辺に平行な断面でいずれも放物線分布をなすと実用上みなしてもさしつかえない。すなわち載荷板の中央に原点をとり、両辺に平行に両軸をとれば、その分布は次式で示される。

$$k_r = \frac{9}{4} \left\{ \left( 1 - \frac{x^2}{4B^2} \right) \left( 1 - \frac{y^2}{4L^2} \right) \right\} \dots\dots\dots (11)$$

より硬い drained sand の場合には板が大きいため、砂表面との密着がうまくゆかず、部分的に大きな測定値がえられた。

土圧実験に使用した載荷板、 $15 \times 20 \text{ cm}^2$  を各裏込砂上に置いた場合の、板の中央の  $k_r$  は表-2 に示す。砂の堆積が硬いと、載荷板中央の底面反力が小になる傾向があるが、この場合中央の底面反力の値より判断して、 $k_r$  は実用上 (11) 式の分布をしているとみなすことができる。同じ submerged sand の 図-8 と表-2 を比較して載荷板の大きさが異なるのにかかわらず、中央の  $k_r$  に変化がほとんどないのは、

表-2  $15 \times 20 \text{ cm}^2$  の中央の底面反力測定値

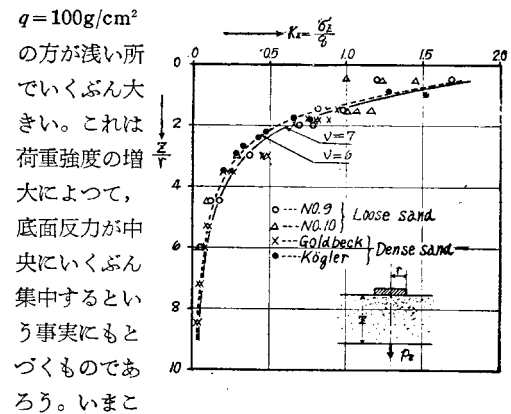
Sand	実験番号	$q(\text{gr/cm}^2)$	$k_r = p_r/q$
dry loose	3-20 (3)	100	2.05
dry dense	3-23 (4)	200	1.91
"	3-26 (4)	200	1.77
"	3-26 (5)	200	1.76
submerged	3-30 (3)	200	1.80

かなりに不合理であるが、 図-8 の  $k_r$  は loose sand に注水した直後の値であつて、砂の堆積部の硬さが loose sand ににっていた場合であり、表-2 の方は排水、注水をくりかえし、途中で載荷をして、裏込土砂がかなり硬くなつた drained sand に注水した場合であるからである。

なお砂槽の側壁に載荷板を近接させて測定したが、そのために生ずるような底面反力の変化は特に認められなかつた。

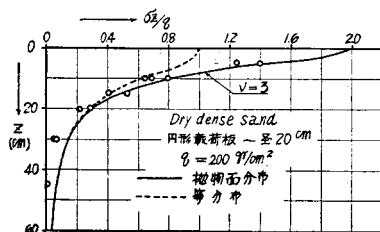
ii) 鉛直増加土圧 簡単な測定は、円形載荷板による中心軸上における測定である。dry loose sand 上で、直径  $d = 20 \text{ cm}$ 、 $q = 100 \text{ g/cm}^2$  による測定値を 図-9 に示した。○印は砂槽の一方の壁から 10.5 cm (No.9)、△印は砂槽中央付近 (No.10) における値であるが、両者の値はほとんど同じで、鉛直壁の影響は認められない。砂深 5 cm の測定値、すなわち浅い所の  $K_z$  は散乱した。図には示していないが、 $q = 50$

$\text{g/cm}^2$  と  $q = 100 \text{ g/cm}^2$  を比較すると、 $q = 100 \text{ g/cm}^2$  の方が浅い所でいくぶん大きい。これは荷重強度の増大によつて、底面反力が中央にいくぶん集中するという事実にもとづくものである。いまこの測定値に半無限体内の Fröhlich の式をあてはめると<sup>8),9)</sup>、二次放物面分布の  $\nu = 6 \sim 7$  がよく一致する。



これと関連のある実験は Goldbeck<sup>10)</sup> 並びに Kögler と Scheidig<sup>11)</sup> によつて行われた。 図-8 に両者の測定値をそれぞれ別の印で示した。いずれも砂槽内に突き固めて填充した砂の表面に載荷し、砂槽の底板に取りつけた土圧計によつて測定した値であるが、われわれの測定値と比較すると、土圧分布傾向はわれわれの値ときわめてよく似ている。ここにわれわれの値は loose sand の場合であり、両者の測定値は各層ごとに突き固めた砂であるのにかかわらず、分布傾向がよく一致したということは、荷重と裏込砂との関係  $q/q_b$  によつて  $\nu$  の値が変化するためであろう。Goldbeck は直径  $d = 20 \text{ cm}$  と  $34 \text{ cm}$  の 2 種類の載荷板を用い、荷重強度は  $q = 900 \sim 3300 \text{ g/cm}^2$  で、Kögler では  $d = 34 \sim 45 \text{ cm}$  を用い、 $q = 350 \text{ g/cm}^2$  であつた。 $\nu$  は地盤の硬さに固有のものではなくて、地盤が硬い場合でも、荷重強度を増大させると、砂の側方への流動が増大して、底面反力が載荷板の中央に集中すると同時に、載荷板下部の砂中においても地盤の塑性にもとづき、側方への応力伝達が不完全になり、応力集中

図-10 Dry dense sand  $q = 200 \text{ g/cm}^2$  による  $K_z$



度を増すためである。

同じ載荷板で, dry dense sand,  $q=200 \text{ g/cm}^2$  による測定値を 図-10 に示した。この場合  $\nu=3$  の二次放物面分布が妥当のようである。同じく  $q=200 \text{ g/cm}^2$  で drained sand の場合には  $\nu=4\sim 5$  が, submerged sand の場合には注水初期には  $\nu=6\sim 7$  が, よく締め固まつた drained sand に注水した場合には,  $\nu=5$  がよくあてはまつた。以上の実験によつて, 荷重が一定の場合には,  $\nu$  は地盤の硬さによつて変化することを確かめた。

興味ある問題は矩形載荷板による測定であるが, dry loose sand の場合につき 図-11 に示した。 図

11 は矩形載荷板  $15 \times 20 \text{ cm}^2$  の中心軸上, 載荷板の縁の真下, 載荷板の縁より  $6 \text{ cm}$  離れた位置における鉛直増加土圧の

同一鉛直面内の分布を示し, いずれも壁より  $10.5 \text{ cm}$  離れている No.9 による値であり, 実線は底面反力分布が式 (11) によつて与えられ, 鏡像を使用した式 (10), (9) による計算値, 点線は底面反力が等分布で式 (10), (8) による値で, この場合像の載荷重による圧力は  $X=6 \text{ cm}$  ですらかわめて微弱である。大体  $\nu=6\sim 7$  程度の分布をした。これによつて, 載荷板の縁の真下, 並びに縁より  $6 \text{ cm}$  離れた外側においても, 中心軸上におけると同じ  $\nu$  の値によつて鉛直増加土

圧が分布することがわかつた。

次に不動の鉛直壁を土圧計の受圧板の縁より  $0.5 \text{ cm}$  離して砂槽の壁に平行に仕切つておき,  $X=0, X=6 \text{ cm}$  になるように載荷して増加土圧を測定し, それらの結果を壁が土圧計より  $10.5$

$\text{cm}$  の位置にある 図-11 の同距離に載荷した場合と比較することは, さらに興味ある問題であるが,  $X=0$  の値は壁が荷重に近接している 図-12 の場合の方が大きい。 図-12 の曲線も鏡像を利用した式 (10) によ

図-11 載荷板の各位置における鉛直増力土圧分布の比較 (土圧計 No. 9)

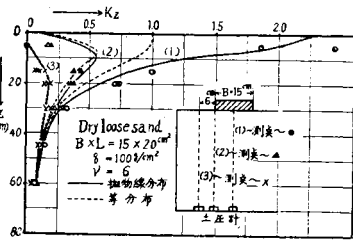
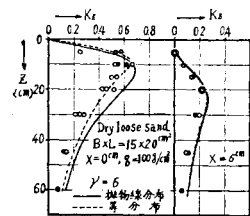


図-12 鉛直壁が土圧計中心より  $2 \text{ cm}$  の距離にあるときの鉛直増加土圧分布



り求めたものであるが, これらの関係は載荷板が鉛直壁に接近するほど, 鉛直壁の真下では鉛直増加土圧が増大することを示し, また Fröhlich の式に鏡像の原理を適用した式 (10) は実用上鉛直壁で仕切られた砂槽内の鉛直増加土圧をあらわすことを示すものである。

5. 結 語

この実験は砂層の底が硬い場合の実験であるが, 以上の実験結果から次のことがわかつた。

1.  $15 \times 20 \text{ cm}^2$  の矩形載荷板で,  $q=100\sim 200 \text{ g/cm}^2$  程度の荷重強度では, 底面反力分布は実用上, 両辺に平行な断面においては, 放物線分布をなす。

2. 載荷板を鉛直側壁に近接させて測定したが, そのために生ずる底面反力の変化は特に認められない。

3. 集中係数  $\nu$  の値は荷重が一定な場合は, 地盤の硬さにより, 地盤の硬さが一定なときは, 荷重の状態によつて変化することを確かめた。

4.  $\nu$  を大きさの順に列記すると, 直径  $20 \text{ cm}$  の円形載荷板, ないし  $15 \times 20 \text{ cm}^2$  の矩形載荷板で,  $q=100 \text{ g/cm}^2$  程度で loose sand で  $\nu=6\sim 7, q=200 \text{ g/cm}^2$  では submerged sand で  $\nu=5, \text{ drained sand}$  で  $\nu=4\sim 5, \text{ dry dense sand}$  で  $\nu=3$  程度であつた。

5. 載荷による鉛直増加土圧は, 載荷板の縁の真下, 並びに縁より離れた外側の位置においても, 載荷板の中心軸上における場合と同じ  $\nu$  の値に従つて分布する。

6. 土中を仕切つた不動の鉛直壁に近接して載荷すると, 壁に接近した部分の鉛直増加土圧を増加させるが, この場合 Fröhlich の式に鏡像の原理を適用したものは, 鉛直増加土圧を実用上あらわしている。  $\nu$  の値には変化を与えない。

終りにあたつて, 計測関係全般にわたつて終始御指導を頂いた学習院大学教授近藤正夫博士, 土質力学の御指導を頂いた京大教授村山朗郎博士に深謝し, 実験装置についてたえず御協力を受けた畏友長谷川機械研究室長, 一緒に実験した大津留喬久, 丹羽新, 国分和雄の諸技官に厚く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 市原: 酒田港物揚場模型実験報告書, 第一港湾建設局 (昭和 28 年 5 月)
- 2) 市原: 宇部港 9 m 岸壁模型実験報告書, 第四港湾建設局 (昭和 28 年 6 月)
- 3) 市原: 酒田港における地表面載荷重による土圧の測定, 第 8 回年次学術講演会概要, p. 42 (昭和 27 年)
- 4) 近藤・長谷川・市原: 土圧計 3 種, 運研報告書 3 卷 4 号, p. 17 (昭和 28 年 4 月)

- 5) 近藤：力の測定に関する基礎的事項，運研報告書，2巻1号（昭和27年1月）
- 6) S.D. Carothers：Stress due to a Loaded Surface when Earth is treated as an Elastic Solid, Engineering (1924) pp 1, 156
- 7) E. de Beer：“Tests for the Determination of the Distribution of Soil Reactions beneath Beams resting on Soil” Proc. 2nd. 1. Con. Soil Mechanics, Vol. 11.
- 8) 星埜：基礎の支持力論，p. 22, p. 31（昭和23年）
- 9) 谷藤：路盤に関する土質力学的研究，p. 53（昭和24年）
- 10) Goldbeck：“Distribution of Pressures through Earthfills” Proc. A.S.T.M. Vol. 17, 1917, p. 640.
- 11) Kögler F, and A. Scheidig：“Druckverteilung im Baugrunde<sup>1)</sup>：A series of articles in Die Bautechnik. 1928, 1929. (昭.29.9.17)

## 砂の粒度がその単位容積重量及びモルタルの強度に及ぼす影響に関する研究

正員 荒木 謙 一\*

### EFFECTS OF GRADING OF SAND ON BULK DENSITY AND ON STRENGTH OF MORTAR

(JSCE April 1955)

Ken-ichi Araki, C.E. Member

**Synopsis** This paper is a report of an experimental investigation of the effect of grading of sand on the workability and the strength of mortar having constant flow and water cement ratio. The author suggest the specific surface and void of sand as factors for proportioning of mortars.

**要旨** 砂の粒度（とくに不連続粒度）がその単位容積重量やモルタルの強度に及ぼす影響を実験的に調べ、かつ砂の性質として配合設計にはとくに比表面積と空隙率とを考慮することを提案した。

#### 1. 緒言

砂の粒度はコンクリートあるいはモルタルの品質に大きい影響を与えることが古くより研究され<sup>1)2)</sup>、最初は諸要素（セメント使用量、骨材の種類など）に応じてそれぞれの理想粒度曲線が創案されたが、後にはある範囲内のものが適当とされるに至り、各国で示方書に示されている<sup>3)</sup>。

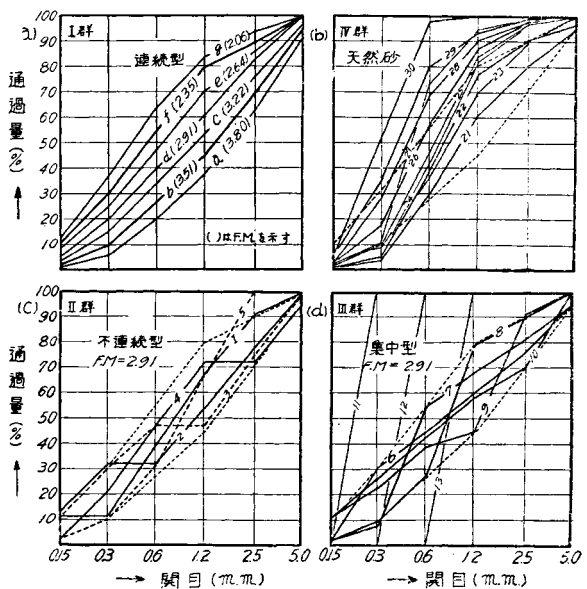
骨材の粒度の概略を示す指数として日米では粗粒率（Fineness Modulus；F.M.）が用いられるが、著者はF.M.の代わりに比表面積の近似値と空隙率とを用い、粒度と空隙率及びモルタルの強度との関係を試験した。コンクリートの場合に不連続粒度のほうがよいとも云われているので<sup>4)5)6)</sup>、とくに不連続粒度の影響を調べた。また土木学会の「砂のモルタル強さ試験」で標準の砂と強度を比較するとき粒度が悪いために有機不純物は少くとも90%の限界に落ちることがあることを確かめた<sup>7)</sup>。最後に粒度に応じw/cを変えフロー値及びセメント使用量が一定の場合の強度

の比較をした。

#### 2. 実験材料及び方法

**a) 材料** 砂は吉野川産でほとんど有機不純物が無く、かつ泥土量が約0.5%のものを規格のフルイでふるい分けた後に各種の粒度に調製したものと、洗っただけの天然の河砂を用いた。粒度は次の図-1に

図-1 砂の粒度曲線



\* 徳島大学助教授，工学部土木工学教室