

中央大学工学部

同上

正員 久野 悟 郎

学員 ○ 藤 井 育 昭

§ 1. 緒 言

最近 は骨材貯蔵の一策として、骨材貯蔵ビンが広く用いられてきつゝある。このような貯蔵ビンに、砂のような非粘性

粒状材料を詰めた際、どのような土圧が作用するかについては、現在 Janssen の理論解がその設計規準となっているようである。

この理論では、ビン内の垂直土圧 σ_v はビン底面方向に等分布をなし、粒状材料の重量の一部が側壁との摩擦抵抗で負担されるというサイロ効果のみに基づかれている。したがってこの理論は、直径にくらべ高さの大きい(サイロ効果が十分に働く)貯蔵ビンで、その中に粒状材料が均一に詰められ、しかもビン底板のタワミがないときにはそのまゝ適用できると思われる。

しかし一般的には、貯蔵ビンの大型化、さらには機械化によりビン内に粒状材料を填充する際、ホッパー等で連続して填充するため、ビン内の粒状材料は非常にゆるく、しかも不均一に詰められていると思われる。このような貯蔵ビンに対し Janssen の公式をそのまま適用することには可成り疑問がある。そこで我々は、ビンの径と高さかほぼ等しい(サイロ効果が少ない)ような貯蔵ビンに砂をホッパーで填充し、ビン中央から砂を抽出する場合、砂填充中あるいは抽出中にビン側壁および底面にかゝる土圧と、ビン側壁に生じる応力をしるため、写真-1、図-1、2 に示すような模型ビンを用いて行った実験結果の一部を報告する。

§ 2. 実験方法

実験装置は写真に示すごとく、ホッパー (0.6 m^3) と下部砂溜め (0.7 m^3)、その間に貯蔵ビン模型となるパイプ (0.2 m^3) に大別できる。砂填充口の移動によって模型ビンにかゝる土圧分布の変化をみるため、ホッパーと砂填充口との間は伸縮ホースで連結した、なお砂填充口、抽出口とも口径 5 cm を用いた。

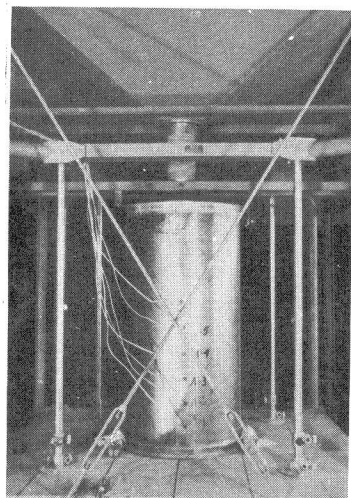
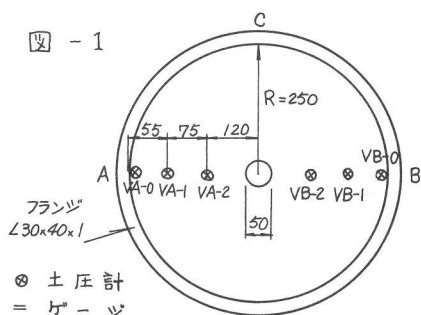


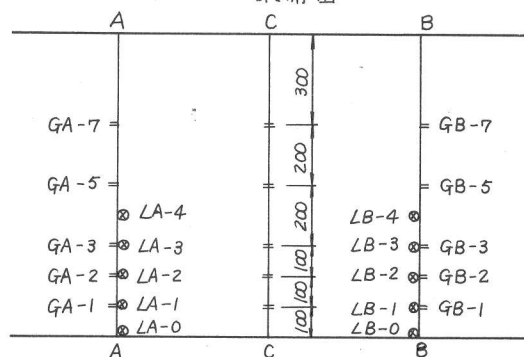
写真-1

図-1



⊗ 土圧計
= ハース

模型ビン展開図 (単位:mm)



模型ビンはい径50cm、高さ1.0m、肉厚0.6mmの真ちゆうパイプである(図-2,3)。

粒状材料としては、材料の均一性と規準的なものとして豊浦標準砂($G_s=2.640$)を用いた。

ビン側壁に生じる応力を測定するため、ビン外面にワイヤストレーンゲージを貼り付け、ビンにかかる水平、垂直土圧については図-1に示された位置に土圧計を取り付けオシログラフで連続的に測定した。

この場合、土圧計突出部の影響を極力押えるため直径2cm、厚さ3mmの超薄型土圧計を用いた。

土圧計の検定には普通液圧検定しかなされていないが、最近土圧計と土との応力-変形特性などの相違によ

り液圧検定の問題が指摘されてきているため、個々の土圧計に対し受圧板に砂を介しての土圧検定を行なった。その結果図-3に示すように、載荷過程では直線的な増加をし、除荷過程ではループを描いて減少する検定曲線を得た。また予備実験結果から、真ちゆうと砂との摩擦係数 $\mu=\tan\delta=0.285$ 、 $\delta=16^\circ$ 、砂の流速(口径5cmの場合) $q=42\text{ kg/sec}$ であった。

§3 実験結果および考察

実験結果をCase I, IIに大別しそれを表-1, 図-2のように定めた。すなわちCase Iはビン中央から砂を填充、ビン底中央から砂を抽出したとき、Case IIはビン端から砂を填充、ビン底中央から砂を抽出したときである。砂塊の高さの規準として H/R , H'/R (R :ビン半径)を用い H , H' を図-2のごとく定めた。

§3-1 垂直土圧: σ_v

貯蔵ビン底面にかかる垂直土圧について図-4, 5に示した実験結果をみると、Case I, IIの場合とも砂の高さが増すにつれ土圧増加の割合が小さくなっている、特に $H/R=1.5\sim 2.0$ 以上で顕著にその傾向がみられる、これはJanssenの仮定したサイロ効果にはかならない。しかしビン底面の土圧分布をみると一様ではなく、砂填充口直下付近で垂直土圧は最小値をとり、丁度填充時の土被り圧とは正反対の土圧分布をなし、側壁付近で土被り圧より20~50%大きい土圧が測定された。

砂抽出開始直後は、急激な垂直土圧の増加または減少をするが、その後砂抽出につれ土被り圧が減少し

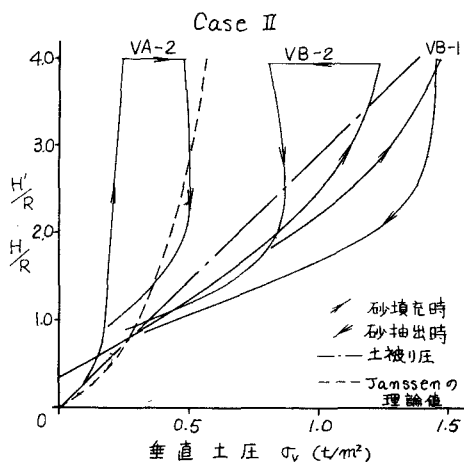
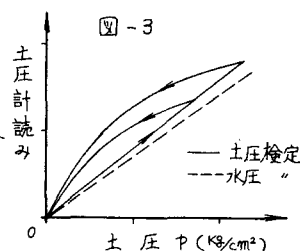
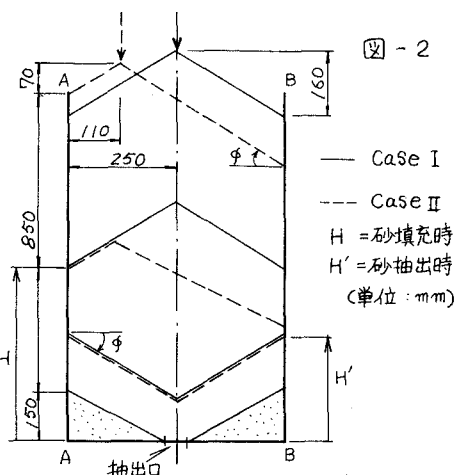


図-4

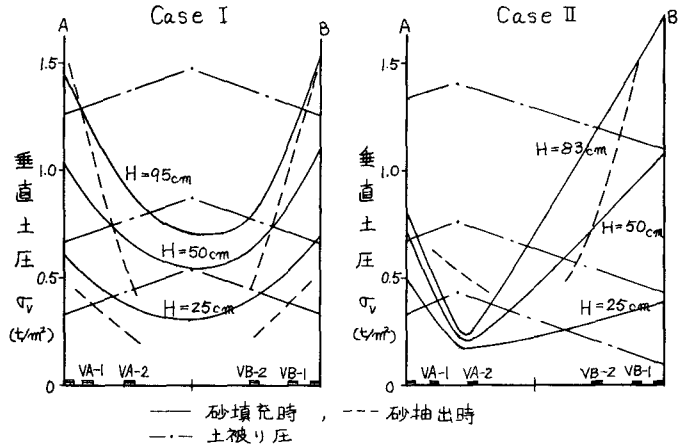
表 - 1

	砂填充口	砂抽出口	口径 (cm)	体積 (m^3)	重量 (kg)	密度 γ (g/cm^3)	空隙比 e	内部摩擦角 ϕ
Case I	ビン中央	ビン中央	5	0.178	236	1.329	0.986	32°
Case II	ビン端	ビン中央	5	0.171	229	1.343	0.966	

ているにもかかわらず、 $H/R = 2.0$ 付近までは抽出直後の土圧とほぼ同じか、やや増加を示し垂直土圧は減少しない。

このことは実験中の観察からも明らかに $H/R = 2.0$ 付近で砂の流出形状に変化が認められた、すなわち $H/R = 2.0$ 付近までは砂層表面は漏斗形をなすが、それ以下では側壁周辺部の砂は大きい安息角をもち、非常に密になっていると思われるような挙動を示した。

図 - 5



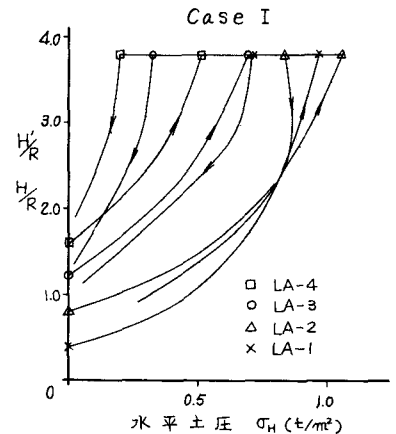
§ 3-2 水平土圧: σ_H

模型ビンの側壁にかゝる水平土圧については図-6, 7 に示すように、ビン側壁の各高さごとに砂填充時には一様な水平土圧の増加をする。砂抽出開始直後は、各高さとも急激な水平土圧の減少をするが、その後砂抽出につれて、前記した垂直土圧と同じような現象が若干おこる。ビン側壁にかゝる水平土圧分布は非水圧分布となり、Janssen のビン側壁には砂の主働土圧が作用するという仮定とは可成り違った結果が得られ、 $K = \sigma_H / \sigma_v$ の値は 0.2 ~ 1.0 の幅で変化している。この水平土圧の分布をみると、Case I の場合 $H/R = 0.7$ ($H = 18 \text{ cm}$) 付近で最大となり、土被り圧とほぼ等しくなる。Case II の場合は A 側 (砂填充口より) で $H = 20 \text{ cm}$ 、B 側で $H = 10 \text{ cm}$ 付近に最大水平土圧が作用していることがわかる。

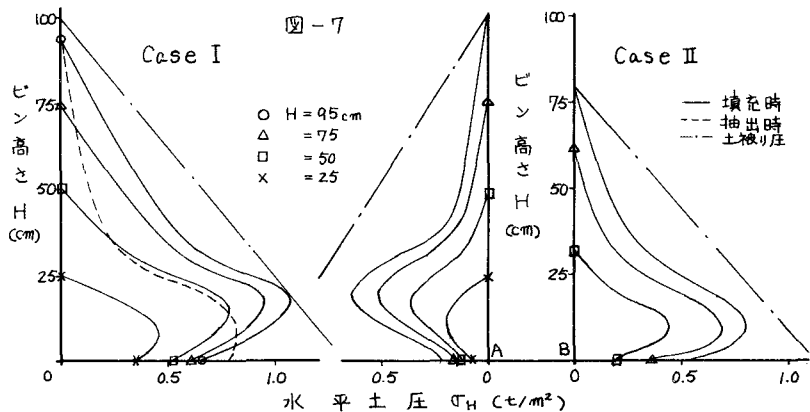
図 - 6

§ 3-3 まとめ

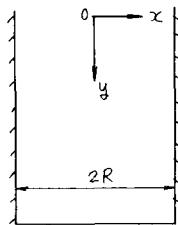
以上の実験結果から考察を加えると、本実験に用いたような貯蔵ビンにホッパーで砂を填充した場合、Janssen の仮定したサイロ効果をかけでは十分に説明できないような現象がおこり、Janssen の公式はそのまゝ適用できないように思われる。そこで Terzaghi の擁壁におけるアーチング理論を併せ適用して、砂填充にともない図-8 に示すごとく、貯蔵ビンの底部に $\alpha m a$ (Case I の場合)、 $\alpha' m b'$ (Case II の場合) のような仮想アーチが構成されたと考える



と、仮想アーチの支
点となる所では大き
い支反力が生じる
ため、この部分の水
平、垂直土圧は増大
するから、土圧分布
は図-5、図-7の
ようになり、§3-1
で述べた観測結果と
も一致すると思われ
る。



このような仮想アーチを考えることが妥当かどうかは今後の研究とし
たい。また実験結果から、垂直土圧分布を双曲線関数であると仮定し
て、座標を下図のごとくとり弾性釣り合い方程式から $\sigma_y = \sigma_v$ を求める
と



$$y = R\eta$$

$$x = R\xi \quad \text{として}$$

$$\sigma_y = A \cosh \alpha \xi \cdot \{1 - \exp(-B\eta)\}$$

$$A = \gamma R / (\mu K \cosh \alpha)$$

$$B = \alpha \mu K \coth \alpha$$

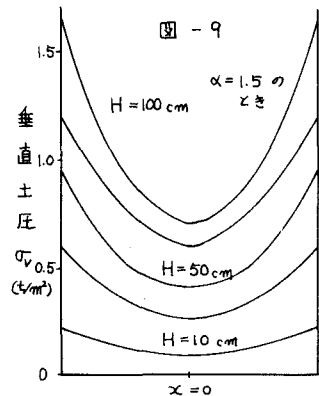
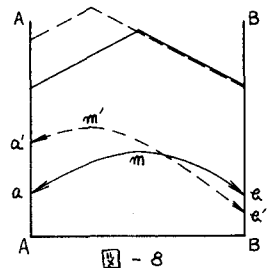
$$z > z''$$

$$K = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = 0.307$$

$$\alpha = \text{サイロ定数}$$

μ, γ, R は前記した値を用いると図-9 のようになり、垂直
土圧の実験値、図-5 とよく一致しているようである。

このことから、模型ビン底面にかゝる垂直土圧分布は双曲線関数形
になると思われる。水平方向土圧についても今後、さらに研究
を進めたい。なお、本実験遂行にあたり日本鋼管株式会社の御
助力に深く感謝の意を表する。



参考文献

1. 市原松平, 古川清: "土圧計の検定に関する実験的研究" 土木学会論文集 135号
2. 小野一良: "コルゲートシートによる骨格貯蔵ビンの研究" 土木学会年次学術講演会 第19, 21回
3. 山口柏樹: "アーチ作用の理論とその応用" 土木学会年次学術講演会 第20回
4. Alexander M. Turitzin: "Dynamic Pre. of granular material in deep bins" Proc. ASCE (1963)
5. K. Terzaghi: "Theoretical Soil Mechanics"