

岐阜高専 ◎ 稲 葉 雄次郎

狩 俣 恒 一

1. まえがき

盛りこぼし橋台が地震時有利な構造であることは、これまでの経験から認められている所であるが、地震時盛りこぼし橋台に働く設計土圧については不明点が多い。私達は盛りこぼし橋台に対する主動土圧の計算式を得たので、それに地震時における物部の考え方を適用した式を誘導し、それを実験で確かめつつあるので、これまでに得た結果を報告する。

2. 計算式

静的主動土圧を求めたのと同じような考え方にたつて、地震時における盛りこぼし橋台の主動土圧の発生は、橋台全体としての変位により、主動土圧が発生し、ついで、脚柱によつて支えられている「主動せん断土塊」間の土が脚柱間をすべつて抜け出ようとする極限の状態において、すべつていく土の重量の一部が主動せん断土塊の側面にもたれかかつて、主動土圧の増加となつてあらわれるものとする。静的主動土圧 P_A の式は

$$P_A / 2B = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cdot K_A \cdot C_A \quad (1)$$

$$C_A = 1 + C_{A1} + C_{A2} \quad (2)$$

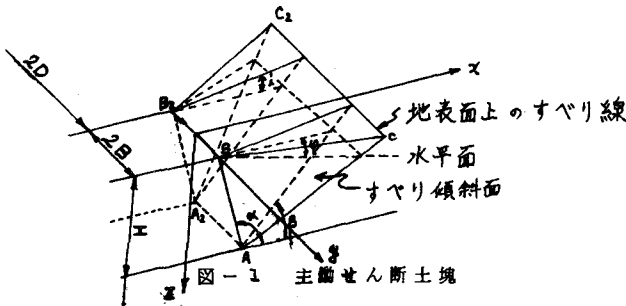
但し、記号等については図-1参照

$$K_A = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha + \delta)} \cdot \left[1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - i)}{\sin(\alpha + \delta) \cdot \sin(\alpha - i)} \right]^{-2} \quad (3)$$

$$C_{A1} = \frac{1}{3} \frac{H}{B} \tan \varphi (1 - \tan i \cdot \cot \alpha) \cdot \cos^2 i \cdot \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\beta - i) \cdot \sin(\alpha - i)} \quad (4)$$

$$C_{A2} = 2 \sqrt{\mu^2 - 2\mu K \sin \varphi \cdot \cos \beta + K^2 \sin^2 \varphi} \cdot \frac{\sin(\beta + \phi + \lambda)}{\eta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \sin(\beta - \phi)} \cdot \frac{H}{B} \cdot \omega^3 \cdot$$

$$\frac{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\beta - i)}{\sin(\alpha - i) \cdot \sin(\alpha - \beta)} \cdot \left(\frac{1}{2\omega} \frac{D}{H} - \frac{\tan \bar{\varphi}}{6} + \frac{1}{\tan \bar{\varphi}} \cdot e^{-\frac{\eta}{\tan \bar{\varphi}}} \cdot \left[-\frac{1}{2\omega} \cdot \left(\frac{D}{H} \right)^2 + \left\{ \left(\frac{D}{H} \right)^2 - \frac{D}{H} \omega \tan \bar{\varphi} + \frac{1}{3} \omega \cdot \tan \bar{\varphi} \right\} \cdot \left(\frac{1}{2\omega^2} + \frac{\eta}{\omega^2 \tan \bar{\varphi}} - \frac{1}{2} \eta^2 \log D \cdot \frac{1}{\omega^2 \tan \bar{\varphi}} - \frac{1}{6} \frac{\eta^3}{\omega^2 \tan^3 \bar{\varphi}} \right) \right] \right) \quad (5)$$



2D; 脚柱間隔 (m)

φ; 土塊の側方への

拡がり角

2B; 脚巾 (mm)

H; 壁高 (m)

γ; 土の単位体積重量 (ton/m³)

$$\tan \beta = \frac{\sin \alpha + \sin \phi \cdot \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta) \cdot \sin(\alpha-\lambda)}{\sin(\alpha+\delta) \cdot \sin(\phi-\lambda)}}}{\cos \alpha + \cos \phi \cdot \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta) \cdot \sin(\alpha-\lambda)}{\sin(\alpha+\delta) \cdot \sin(\phi-\lambda)}}}$$

$$w = \frac{\sin(\alpha-\lambda)}{\sin \alpha \cdot \sin(\beta-\lambda) \cdot \cos \bar{\varphi}}$$

$$\mu = \sin(\bar{\varphi} + \phi') \cdot \cos \varphi \cdot \cos \bar{\varphi} \cdot K \cdot \sqrt{1 + \tan^2 \phi'}$$

$$\tan \bar{\varphi} = \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin \alpha} \cdot \tan \varphi$$

$$\tan \lambda = \frac{\mu \cos \beta - K \sin \varphi}{\mu \sin \beta}$$

地震時においては、 k を水平設計震度、 k_1 を鉛直設計震度、 θ を地震合成角とすると、

$\theta = \tan^{-1}(k/(1-k_1))$ で表われ、(1)~(5)の主働土圧の式を θ を用いて地震時の主働土圧の式に換えるには、 r 、 H 、 α 、 λ 、の値がそれぞれ

$$r \rightarrow (1-k_1) \cdot r \cdot \frac{1}{\cos \theta}, \quad H \rightarrow \frac{\sin(\alpha+\theta)}{\sin \alpha} \cdot H, \quad \alpha \rightarrow \alpha + \theta, \quad \lambda \rightarrow \lambda' + \theta$$

で表われるから⁽²⁾、盛りこぼし橋台に対する地震時主働土圧の式は

$$PAE/2B = \frac{1}{2} (1-k_1) \cdot r \cdot H^2 \cdot K_{AE} \cdot C_{AE} \quad (b) \quad C_{AE} = 1 + C_{AE1} + C_{AE2} \quad (\text{地震時増加係数}) \quad (7)$$

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\alpha+\theta-\phi)}{\sin^2 \alpha \cdot \cos \theta \cdot \sin(\alpha+\theta+\delta)} \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta) \cdot \sin(\phi-\lambda'-\theta)}{\sin(\alpha+\theta+\delta) \cdot \sin(\alpha+\lambda')}} \right\}^{-2} \quad (8)$$

$$C_{AE1} = \frac{1}{3} \frac{H}{B} \tan \varphi \cdot \cos^2(\lambda'+\theta) \cdot \left\{ 1 - \tan(\lambda'+\theta) \cdot \cot(\alpha+\theta) \right\} \cdot \frac{\sin(\alpha+\theta-\beta_E)}{\sin(\beta_E-\lambda'-\theta)} \quad (9)$$

$$C_{AE2} = 2 \sqrt{\mu_e^2 - 2 \mu_e K \sin \varphi \cdot \cos \beta_E + K^2 \sin^2 \varphi} \cdot \frac{\sin(\beta_E + \phi + \lambda_e) \cdot \sin^2(\alpha+\theta) \cdot \sin(\beta_E - \lambda' - \theta)}{\eta_e \cdot \cos \bar{\varphi}_e \cdot \cos \beta_E \cdot \sin(\beta_E - \phi)}$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sin(\alpha-\lambda) \cdot \sin(\alpha+\theta-\beta_E)} \cdot \frac{w_e^2}{B} \cdot \frac{H \sin(\alpha+\theta)}{\sin \alpha} \cdot \left(\frac{1}{2 w_e} \frac{D}{H} \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha+\theta)} - \frac{1}{6} \tan \bar{\varphi}_e \right. \\ & + \frac{1}{\tan \bar{\varphi}_e} e^{-\eta_e / \tan \bar{\varphi}_e} \cdot \left\{ -\frac{1}{2 w_e^2} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha+\theta)} \frac{D}{H} \right)^2 + \left\{ \left(\frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha+\theta)} \right)^2 \left(\frac{D}{H} \right)^2 - \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha+\theta)} \cdot w_e \tan \bar{\varphi}_e \cdot \frac{D}{H} \right. \right. \\ & + \left. \frac{1}{3} w_e^2 \tan^2 \bar{\varphi}_e \right\} \left\{ \frac{1}{2 w_e^2} + \frac{\eta_e}{w_e^2 \cdot \tan \bar{\varphi}_e} - \frac{1}{2} \eta_e^2 \cdot \log D - \frac{1}{w_e^2 \tan^2 \bar{\varphi}_e} - \frac{1}{6} \cdot \frac{\eta_e^3}{w_e^3 \tan^3 \bar{\varphi}_e} \right\} \\ & - \frac{\eta_e}{w_e^2 \tan \bar{\varphi}_e} \left\{ \left(\frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha+\theta)} \right)^2 \left(\frac{D}{H} \right)^2 - \frac{1}{2} \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha+\theta)} \cdot w_e \tan \bar{\varphi}_e \cdot \frac{D}{H} \right\} + \frac{1}{6} \frac{\eta_e^2}{w_e^2 \tan^2 \bar{\varphi}_e} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha+\theta)} \cdot \left(\frac{D}{H} \right)^3 \\ & \left. \left(\log D - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{\tan^3 \bar{\varphi}_e \cdot w_e^3} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha+\theta)} \cdot \frac{D}{H} - w_e \tan \bar{\varphi}_e \right)^2 \left\{ \frac{1}{3} - \log \left(D - H \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha+\theta)} w_e \tan \bar{\varphi}_e \right) \right. \right. \\ & \left. \left. + \dots \dots \dots \right\} \right) \quad (10) \end{aligned}$$

$$\tan \lambda_e = \frac{\mu_e \cos \beta_E - K \sin \varphi}{\mu_e \sin \beta_E}, \quad \tan \beta_e = \frac{\sin(\alpha+\theta) + \sin \phi \cdot \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta) \cdot \sin(\alpha+\theta)}{\sin(\alpha+\theta+\delta) \cdot \sin \phi}}}{\cos(\alpha+\theta) + \cos \phi \cdot \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta) \cdot \sin(\alpha+\theta)}{\sin(\alpha+\theta+\delta) \cdot \sin \phi}}}$$

$$w_e = \frac{\sin(\alpha - \alpha')}{\sin(\alpha + \theta) \cdot \sin(\beta_e - \alpha' - \theta) \cos \bar{\varphi}_e}$$

$$\tan \bar{\varphi}_e = \frac{\sin(\alpha + \theta - \beta_e)}{\sin(\alpha + \theta)} \cdot \tan \varphi$$

$$\eta_e = \tan \bar{\varphi}_e + \frac{K}{\cos \beta_e \cdot \sin \beta_e} (\tan \bar{\varphi}_e + \tan \varphi'), \mu_e = \sin(\bar{\varphi}_e + \varphi') \cdot \cos \varphi \cdot \cos \bar{\varphi}_e \cdot K \cdot \sqrt{1 + \tan^2 \varphi'}$$

地震時主働土圧増加係数 C_{AE} は、 α 、 δ 、 i 、 f 、 H/B 、 D/H 、等の関数だけでなく、地震合成角 θ の関数であることがわかる。図-2、図-3 はそれぞれ C_{AE} に関するグラフを示したものである

$k_1 = 0, k = 0.2$

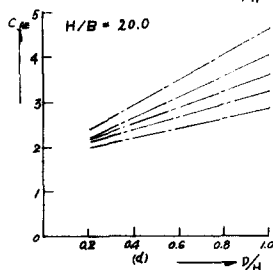
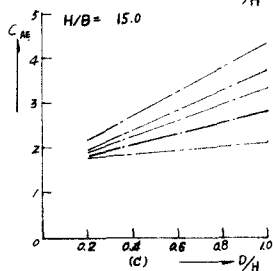
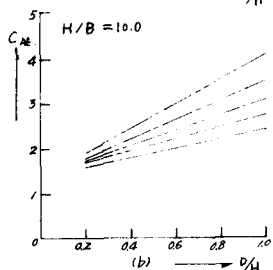
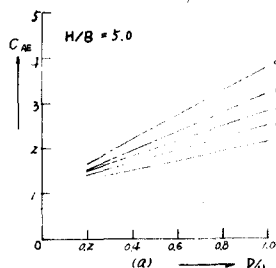


図-2 $k_1=0, k=0.2$ に対する
地震時増加係数 C_{AE}

$k_1 = 0, k = 0.4$

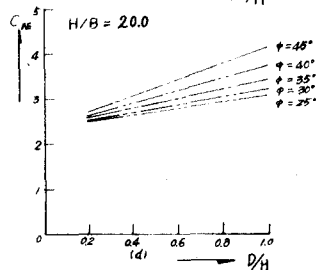
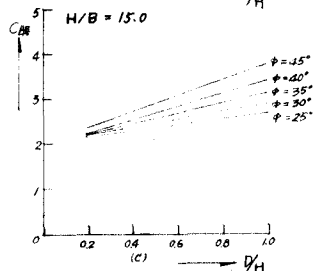
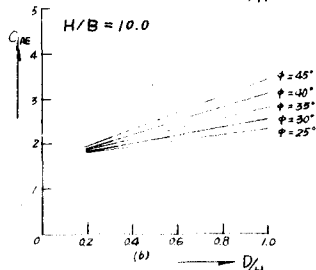
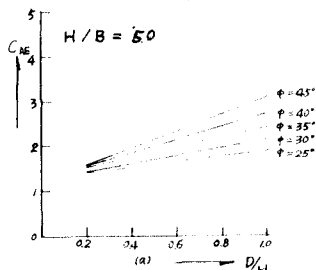


図-3 $k_1=0, k=0.4$ に対する
地震時増加係数 C_{AE}

3 実験と考察

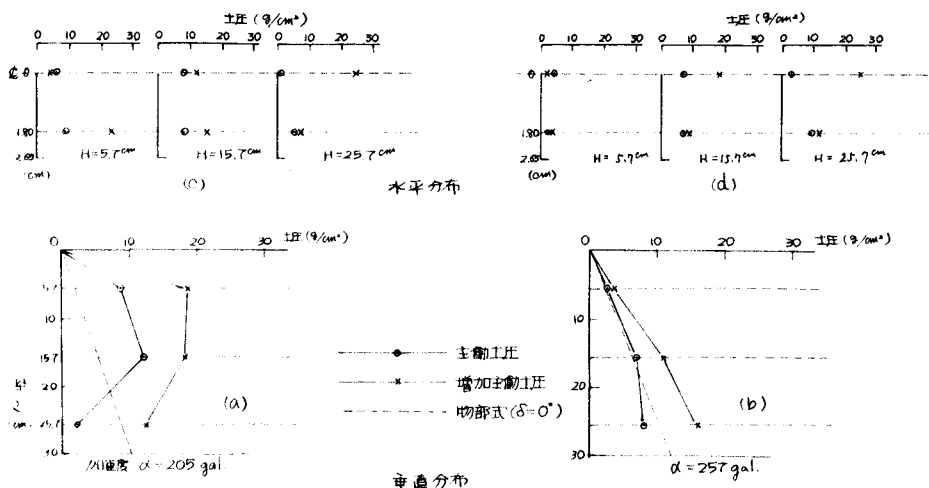


図-4 地震時増加主働土圧

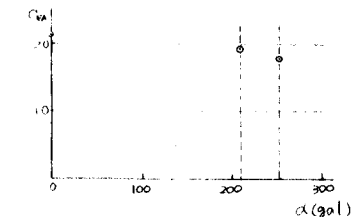


図5 C_{AE} と震度との関係

実験は二本の脚柱をある間隔をおいて置き、脚柱間および外側に壁を設置して、全体を下端ヒンジにして上端を変位させる装置を砂槽に設置し、砂槽を振動台上で、ある加速度で振動させる。最初に脚柱と壁を一体として動かして、振動中の主働土圧を発生させ、ついで、壁だけをなお変位させて脚柱のうける土圧の増加を測定した。実験には乾燥した Dense Sand ($\phi=45^\circ$)を用い、 $\delta=0^\circ$ の条件で行った。図-4は振動中の増加主働土圧を振動加速度をかえて測定したものである。なお $2B=5\text{cm}$ 、 $H=30\text{cm}$ 、 $2D=10\text{cm}$ 、水平加速度0、100、200、260galで測定した。ここでは実験の一例を示したが、壁と柱を分離した場合には、主働土圧以上に土圧が増加しているのが見られる。土圧の水平分布においては、柱中央部と端部の土圧の相違は、はっきりとあらわれていない。 C_{AE} と震度との関係を示したのが、図-5である。 C_{AE} は加速度が大きくなると減少していることが見られる。これは理論解の結果と一致する。ある条件の範囲内では、理論解と実験値は近似していることがわかったが、実験例が少ないので、なお今後実験をかさねるつもりである。

参考文献

- 1) 狩俣「盛りとぼし橋台の主働土圧について」土木学会中部支部昭和46年研究発表会(46.11.12)
- 2) 最上綱「土質力学」技報堂 P. 650