

山口大学工学部 正員 ○ 最上 幸夫

同 大学院 学生員 木本 満

1. まえがき

交通事故の鑑定などで車両がガードレールに衝突し、レールに塑性変形を与えた結果から逆にそのとき車両がもっていた運動のエネルギーを計算し、衝突時の車両速度を推定する必要が実際問題としてしばしば起こることがある。しかしこのような複雑な問題は現段階ではまだ多くの未解決な問題を含んでいると思われる。そこでかかる問題解決の第一歩として土中に埋め込まれた鉄杭の先端に水平衝撃を加えたときの塑性変形について室内のモデル実験を行ない、実験結果について若干の考察と検討を行なったのでその概要を報告する。

2. 実験の概要とその考察

実験の要領は図-1に示すごとく、 $l = 44\text{ cm}$ 、鉄杭の断面 $9.5 \times 9.5\text{ mm}$ 、 $l_1 = 24\text{ cm}$ 、 $l_2 = 20\text{ cm}$ 、杭の末端に $5.5 \times 5.5 \times 6.0\text{ cm}$ のコンクリートブロックをとりつけ、杭の先端に種々の高さ ($10 \sim 60\text{ cm}$ 、 10 cm ごとく) から重錘 ($5, 10, 15\text{ kg}$ の3種) を

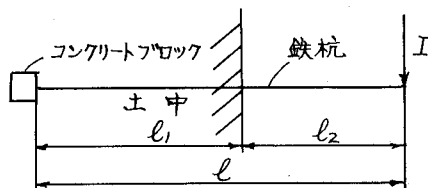


図-1

自然落下させて杭の塑性変形の状態をしらべる。若干自然状態の場合と異なっているが、実験の容易なことから図-1の状態で行った。落体の質量が杭の質量にくらべてはるかに大きい点を考慮すると、図-1の状態についての解析はほぼ自然地震の場合にも適用しうるものと考えられる。試料土は実験室付近の赤土を採取し、自然乾燥後粉末として加水し、よく練りませた後、厚さ 20 cm ごとに一定の方法で突き固めた。試料土は含水比、平均 22% 、湿潤密度、平均 2.05 であった。同一の衝撃については3回の測定を行ない、一応その平均値によって実験結果を代表せしめた。

実験結果の代表例を示すと、図-2のようになる。すなわち杭に生じた塑性変形の状態をしらべると、杭全体は図-2に示すごとく、点Oを中心としてあたかも剛体として θ_1 なる回転を生じ、土中のある断面Cに塑性ヒンジが発生し、CAの部分がC

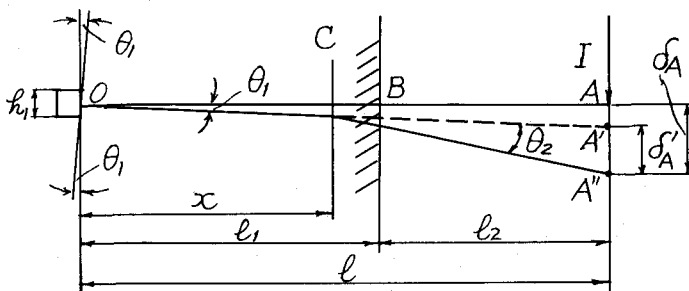


図-2 塑性変形の代表例

を中心折り曲げられたような塑性変形を生じ、断面Cの前後はある曲率の curve をなしている。そこでこのような塑性変形状態を解析する方法について考察を行なってみる。考え方としては、衝撃 I のうちの一部分 I_1 によって杭全体が剛体として点Oのまわりに θ_1 なる回転を生じ、残りの $I_2 = I - I_1$ によって近似的にはCAの部分がCを固定とする片持ちばりとしての塑性変形を生ずるものと仮定したのである。かくすると、まず塑性ヒンジの発生する断面Cの位置をきめる必要があるが、これに対

いて、近似的には杭先端に集中荷重 P が作用したとき、杭が剛体として点 O のまわりに θ だけ回転したものと仮定し、このとき杭断面に M_{max} を生ずる位置に塑性ヒンジが発生するものと仮定した。このような仮定に基づいてヒンジの位置 x (図-2参照) を求めると、次式で与えられる。

$$x = \sqrt{l_1^2 - \frac{2}{3l} (l^3 + \frac{b_1 K_R l_1^3}{4 b K_V})} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 b : 鉄杭の幅、 b_1 : コンクリートブロックの奥行幅、 l_1 : 同高さ、 K_V : 鉛直地盤係数、 K_R : 水平地盤係数、 l , l_1 は図-2に示す。つぎに杭全体が剛体として θ なる回転を生ずるに要する I_1 は理論的に求めることは困難であるから、実験結果から θ なる角を測定し、この測定値を用いて次式から算定した。

$$I_1 = \sqrt{2GT}, \quad T = \frac{1}{6} (b K_V l^3 + \frac{1}{4} b_1 K_R l_1^3) \theta_1^2 + G g l \theta_1 \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 G : 落体の質量、 T : 杭全体を θ だけ回転とすために杭先端に加えるべき運動のエネルギー、その他の記号は前と同様。かくして I_1 がとまれば、片持ちばり CA の先端に加わる衝突運動量 $I_2 = I - I_1$ がきまるから、片持ちばりのスパンを式(1)より求めてその塑性変形を求めることができる。

鉄材の場合は一般にひずみ速度の影響をうけ、動的降伏応力はひずみ速度の増大につれて静的降伏応力よりもずっと増大することが知られており、その取り扱い是一般に煩雑な計算過程を要するので、ここでは一応ひずみ速度の影響を考えない場合の算式を近似的に用いることにした。その場合の算式は次式で示される。¹⁾

$$t_f = I l / M_0 \quad \text{----- (3)} \quad \theta_f = \frac{2}{3} \frac{1+3K}{(1+2K)^2} \frac{I^2}{M_0 m l} \quad \text{----- (4)}$$

$$\delta_A' = l \sin \theta_f \quad \text{----- (5)}$$

ここに、 t_f : 衝撃瞬間から塑性変形が停止するまでの時間、 θ_f : 変形が停止したときの回転角、 $K = G/m l$, G : 落体質量、 m : はりの単位長と等しい質量、 I : 先端に作用する衝撃、 l : スパン、 M_0 : はりの全塑性モーメント。

そこで式(3)~(5)の妥当性を検証するために鉄杭と同断面のスパン15cmの片持ちばりについて杭と同様の実験を行ない塑性変形をしらべた結果、上式の計算値は実測値の約2倍の値を示すことが確認できたので、ひずみ速度の影響ある鉄材の片持ちばりでは、上式の M_0 の代わりに動的塑性モーメント $M_d = 2M_0$ を用いると、上式をそのまま適用しうることになる。本文ではこのような近似計算法によって片持ちばりの塑性変形を求めた。以上述べた計算法による結果と実測値を比較した一例を示すと、表-1のとおりである。

表-1 杭先端鉛直塑性たわみ δ_A' の比較

落高 (cm)	10	20	30	40	50	60
実験値 (cm)	0	1.56	3.52	5.75	7.82	9.42
計算値 (cm)	0	2.32	4.15	6.04	7.98	9.65

落重 10 Kg の場合

3. おわりに
上中に埋め込んだ鉄杭の先端に水平衝撃を加えた場合の塑性変形についてモデル実験を行ない、その実験結果を検討し、このような場合の解析法について考察した結果、筆者の取り扱い方がかなりよく実験結果を説明しうることが判明した。今回の実験では工試料または一種類のみとしたので今後さらに上の種類を変えて実験的研究を続ける予定である。

参考文献

- 1) S.R. Bodner and P.S. Symonds: Experimental and Theoretical Investigation of the Plastic Deformation of Cantilever Beams subjected to Impulsive Loading.

Journal of App. Mech., Dec., 1962, pp. 723~724.