

P C桁横締め鋼棒の突出防止工に関する実験的検討

ジェイアール東海コンサルタンツ株式会社 正会員 ○宇佐美 敦浩
 首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 正会員 長嶋 文雄

1. はじめに

PC 桁の横締め鋼棒は遅れ破壊等により、PC 桁から突出することがある。鋼棒が突出した場合、定着部を覆っていたコンクリート塊が地上に落下し、第三者災害を引き起こす可能性が考えられる¹⁾。そのため、鋼板などを桁側面に張り付けることなどによりコンクリート塊の落下防止対策が必要となる。本研究では、鋼棒を自由落下させることにより桁からの突出を再現し、突出防止工としての鋼板が吸収できるエネルギーやそのメカニズムを検証するとともに、突出防止工の塑性設計法を提案する。

2. 実験方法

鋼棒落下実験は図-1 に示すように、突出防止工を想定した実寸法の鋼板 (SS400, 幅: $b=500$ [mm], 高さ: $l=300$ [mm], 板厚: $t=2.5, 3.5$ [mm]) の端部をH鋼に固定させた状態で地下室床面に設置し、6.9m (h) 上方から鋼棒 (長さ: $L=2.0$ [m], 直径: $\phi=23$ [mm], 質量: $m=6.0$ [kg]) を鋼板の中心に鉛直落下させることにより行った。(この場合の位置エネルギー E は $E=mgh$ より $E=405.8$ [Nm] である。) なお、内径 30mm の筒を用いて鋼棒が鋼板の中心に衝突するようにしている。実験中はレーザー変位計を用いて鋼板中心から 141mm 離れた位置において鋼板の変位を測定するとともに、鋼棒の落下速度や衝突時間 (Δt) を算出するため、高速度ビデオカメラを用いて衝突の瞬間を撮影した。

3. 実験結果

実験終了後に図-1 に示した測線①, ②において鋼板の残留塑性変位を測定した結果を図-2(a), (b)に示す。図-2(a)から、ケース1, 2ともにH鋼で固定した鋼板端部から鋼棒が衝突した鋼板中心に向かって変位が増加していることが分かる。また、レーザー変位計で計測した鋼板の変位(図-3 参照)から鋼棒が衝突した直後に最大変位をとること、衝突終了後にも一定の塑性変形が残留していることが確認できる。これらの結果を表-1にまとめる。

表-1の説明: ※1: 衝突開始から最大変位をとるまでの時間(高速度ビデオカメラで撮影した画像より算出), ※2: 図-2 に示す鋼板中心における塑性変位, ※3: 鋼板中心の最大変位(弾性変位と塑性変位の和)(実測してないため、レーザー変位計で計測した最大変位と残留塑性変位の比から、鋼板中心の最大変位を推定した。)

4. モデル化

実験結果を検証するため、鋼棒の衝突現象を一質点系のばねモデルに置き換える(図-4 参照)。ここで質量(M)は鋼棒

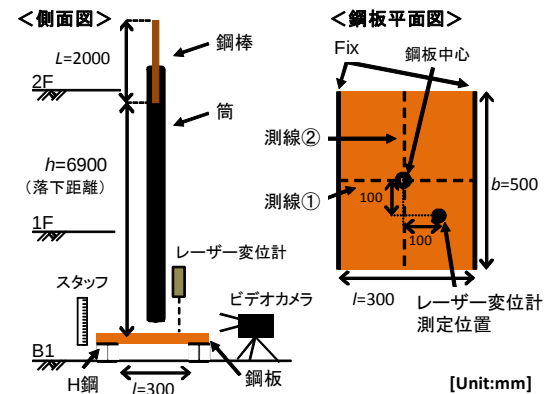


図-1 実験概要図

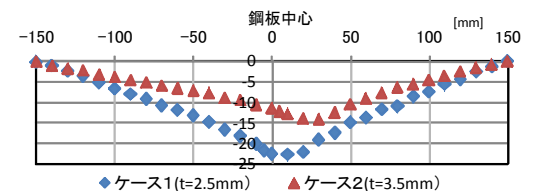


図-2 (a) 塑性変形の分布(測線①)

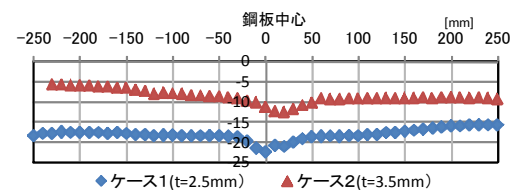


図-2 (b) 塑性変形の分布(測線②)

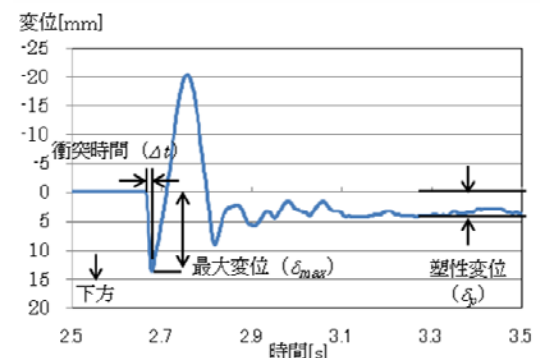


図-3 衝突時変位(ケース1)

表-1 実験結果

	ケース1 ($t=2.5$ mm)	ケース2 ($t=3.5$ mm)
衝突時間※1 Δt [s]	0.0098	0.0054
塑性変位※2 δ_p [mm]	22.5	14.5
最大変位※3 δ_{max} [mm]	55.7	27.9

キーワード PC 桁, 横締め鋼棒, 突出防止, 衝撃試験, 耐衝撃設計

連絡先 〒108-0075 東京都港区港南二丁目1番95号 JR東海品川ビルB棟6階 ジェイアール東海コンサルタンツ(株) TEL 03-6716-7290

質量(m)と、鋼板質量(m')の50%との和とし、それぞれ7.47kg, 8.06kgである。モデル化した等価ばね剛性(k_{eq})、最大荷重(P_{max})、一次剛性(k_0)は式(1)～(3)より求められ、結果は表-2、図-5の通りである。また、これらの値から弾性域内、塑性域内において吸収したエネルギー(E_e , E_p)を算出した。落下前の鋼棒の位置エネルギー(E)と全吸収エネルギー(E_{all})を比較して、算定値は比較的良く合致していることから、完全弾塑性系のモデルで衝突現象の解釈をすることも可能である。また、本稿で提案する塑性設計法により解釈をするときには、断面の全塑性モーメント算出時に用いる降伏応力は公称応力ではなく、真応力の値を使い、さらに歪み速度効果を加味すると実験結果と良く合うことを確認した。

5. 塑性設計法

突出防止工の要求性能としては、(1)想定される最大の突出エネルギーが作用した場合にもコンクリート塊を落下させないこと、(2)突出エネルギーが小さい場合においても鋼棒が破断したことを外観から確認できることが挙げられる。そこで以下に示すフローの塑性設計法を用いて検討を行う。ただし、実験から鋼板のじん性が非常に高いことが予想されたことから本検討においては鋼板の破断を考慮していない。

①PC 鋼棒の突出エネルギー(E_p)の算出 まず、鋼棒のひずみエネルギー($E = \sigma \varepsilon V / 2$ (ここで、 σ は設計荷重作用時の許容応力度(647[N/mm²]), V は鋼棒の体積))から突出速度(v)を求める。ただし、鋼棒の破断位置により突出鋼棒の長さが異なる。そこで、上記(1)と(2)を想定した場合の鋼棒長をそれぞれ $L_1=5.6$ [m], $L_2=2.8$ [m]と仮定し、各々の速度を用いる。また、PC ケーブル内のグラウトの状況により突出速度に低減係数($\alpha=0.8$)を乗じる。そして、突出速度から突出エネルギー($E_p = m(\alpha v)^2 / 2$)を算定する。

②鋼板の許容変形角(θ_1, θ_2)と厚さ(t)の設定 (1)突出後にコンクリート塊が落下しない変形角(θ_1)と(2)変形が目視で確認できる変形角(θ_2)を設定する。変形角から塑性変位(δ_p)が求まる。

③降伏応力(σ_y)の設定 鋼板の降伏応力($\sigma_y=235$ [N/mm²])を設定する。ただし、ここでは歪み速度効果や真応力を考慮するため、降伏応力に割増係数(実験結果より： $\beta=1.7$)を乗じる。

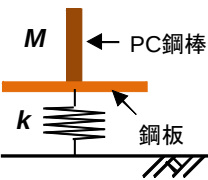
④諸数値の算出

1) 全塑性モーメント(M_p)を式(4)から求める。
 $M_p = (\beta \sigma_y) Z$ …式(4) ただし、 $Z(=bt^2/4)$ は塑性断面係数。

2) 最大荷重(P_{max})を式(5)から求める(図-6 参照)。
 $P_{max} = 8M_p / l$ …式(5)

3) 剛性(k_0)を式(6)から求める。 $k_0 = \gamma \cdot 192EI / l^3$ …式(6)
 ただし、 $\gamma=0.7$ は鋼板両端の固定度に関する低減係数。

4) 弾性変位(δ_e)を式(7)から求める。 $\delta_e = P_{max} / k_0$ …式(7)



$$k_{eq} = \pi^2 M / 4 \Delta t^2 \quad \dots \text{式(1)}$$

$$P_{max} = \delta_{max} \cdot k_{eq} \quad \dots \text{式(2)}$$

$$k_0 = P_{max} / (\delta_{max} - \delta_p) \quad \dots \text{式(3)}$$

図-4 ばねモデルの概念図

表-2 実験結果に基づく算定値

	ケース1	ケース2
等価ばね剛性 k_{eq} [kN/m]	191.8	681.4
最大荷重 P_{max} [kN]	10.7	19.1
一次剛性 k_0 [kN/m]	307.8	1419.9
弾性エネルギー E_e [Nm]	185.3	127.0
塑性エネルギー E_p [Nm]	224.3	275.4
全吸収エネルギー E_{all} [Nm]	409.6	402.5
鋼棒の位置エネルギー E [Nm]	405.8	

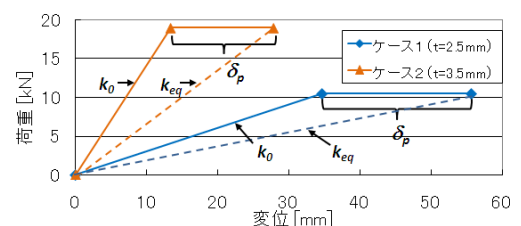


図-5 荷重変位曲線

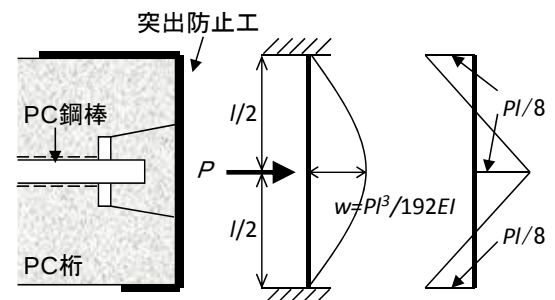


図-6 たわみと曲げモーメント分布

⑤吸収エネルギー($E = (\delta_e / 2 + \delta_p) \cdot P_{max}$)の算出 ここで、(1)を想定した場合は $E > E_p$ 、(2)の場合は $E \approx E_p$ を満足すればよい。

実橋スケールでの計算を行った結果、鋼板の許容変形角(θ_1, θ_2)をそれぞれ 8° 、 4° とした場合、厚さ(t)を7mmとすれば、両要求性能を満たすことが分かった。

6. おわりに

本実験の結果、鋼棒の突出防止工への衝突現象を完全弾塑性系モデルに置き換えることにより、鋼棒の衝突現象の荷重変位関係が検証できた。また、塑性設計法を用いた設計手法の提案を行った。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所：PCグラウトの再注入等補修マニュアル(案)，2002.8