

PC 桁の横締め鋼棒突出防止工に関する衝撃挙動解析

首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 学 ○梶原 堯
 ジェイアール東海コンサルタンツ(株) 正 宇佐美敦浩
 首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 正 長嶋文雄

1. はじめに

PC 桁の横締め鋼棒は腐食や遅れ破壊などにより破断し、グラウチングの施工不良が重なると桁側面から突出することがある。このような突出現象が発生した場合、コンクリート塊が地上に落下し、二次的な災害が発生する可能性があるため、予防処置として鋼板を用いた突出防止工を設置することがある。しかし、高強度の突出防止工で完全に覆った場合には、鋼棒が破断したか認識できない可能性がある。本研究は、横締め鋼棒突出に伴うコンクリートの落下防止機能と鋼棒の破断を目視で確認可能な変形性能を兼ね備えた突出防止工の開発を最終目的としたものであり、鋼棒の突出速度と防止工の衝撃解析のモデル化に関する解析的検討を行ったものである。

2. 横締め鋼棒の突出速度に関する解析的検討

2.1 解析方法 鋼棒の破断位置と破断後の初速度との相関について、汎用衝撃応答解析ソフトを用いて検討した。解析モデルは図 1, 2 に示す通り、鋼棒を弾性体とし、その両端に設けた定着部（剛体①）と強制変位付与治具(図 1 中の黒色部分、剛体②)で構成されており、強制変位を矢印方向に与えた。鋼棒の破断位置による突出速度の違いの有無を確かめるために、鋼棒には予め破断面を 1 箇所（分割比：5:5, 4:6, 3:7, 2:8, 1:9, 1:99 の 6 ケース）用意した。最初はこの破断面相互を緊結（tied）しておき、断面内の応力が一定の値に達するときに緊結を解き（鋼棒が破断）、短部材と長部材が左右に分かれて飛翔するシミュレーションを行い、破断した二つの鋼棒の初速度を調べた。



図 1 解析モデル概略図

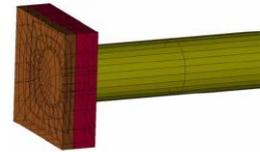


図 2 解析モデル端部詳細図

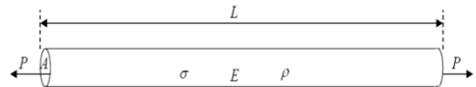


図 3 横締め鋼棒概略図

表 1 横締め鋼棒諸元

L (横締め鋼棒の長さ)	5.60[m]
A (横締め鋼棒の有効面積)	$4.52 \times 10^{-4} [m^2]$
E (横締め鋼棒のヤング係数)	$2.0 \times 10^8 [kN/m^2]$
ρ (SS400 の単位体積重量)	77 [kN/m ³]

2.2 解析結果 図 3 及び表 1 に示すような諸元を有する鋼棒を解析対象として突出速度に関するシミュレーション解析を行った。シミュレーション解析では、所定の破断応力 ($6.47 \times 10^5 \text{ KN/m}^2$) に到達する前（所定値の 7 割程度）に破断が起きたが、これについては破断後の長短両部材の飛翔速度の相対関係に影響しな

表 2 破断後の飛翔速度

分裂後 部材長さ比	破断後の速さ [m/sec]	
	短部材	長部材
5 : 5	10.5	10.5
4 : 6	10.8	11.0
3 : 7	10.9	10.9
2 : 8	10.4	10.9
1 : 9	9.71	11.0
1 : 99	4.28	10.7

いため、そのまま解析を続行した。図 4 に、解析結果の一例として短部材と長部材の長さの比が 1:9 の場合の両部材の速度変化を示す。

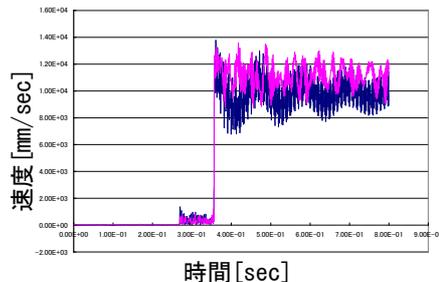


図 4 両部材の速度変化(長さ比 1:9)

キーワード PC 鋼棒, 突出防止工, 突出速度評価, 衝撃挙動解析, 衝撃エネルギー

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 Tel. 042-677-1111 (代)

また、表 2 に全ケースの破断後の長短両部材の飛翔速度をまとめて示す。鋼棒の破断後の飛翔速度（突出速度）は、分割比が極端な 1:99 のものを除けば、破断位置に関係なく殆ど同じ値となっている。この破断時の突出速度は、横締め鋼棒周辺の付着力や摩擦抵抗力を無視したとき、鋼棒の締結時に蓄えられる歪みエネルギー U が破断後に長短両部材の体積に応じて分配され、これが各部材の運動エネルギーに変換すると考えたときの初速度 v と殆ど同じ値である。したがって、 U, v は式(1)を用いて計算される。

$$U = \frac{\sigma^2 \cdot A^2 \cdot L}{2 \cdot E \cdot A} = \frac{1}{2} m_1 v^2 + \frac{1}{2} m_2 v^2 = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2 \Leftrightarrow v = \sigma \sqrt{\frac{A \cdot L}{(m_1 + m_2) E}} = \sigma \sqrt{\frac{A \cdot L}{\rho \cdot A \cdot L \cdot E}} = \sigma \sqrt{\frac{g}{\rho \cdot E}} \quad \dots(1)$$

ここで、 σ : 設計荷重作用時の許容応力、 m_1 : 破断後の長部材質量、 m_2 : 短部材質量、 g : 重力の加速度などで

$$v = \sigma \sqrt{\frac{g}{\rho \cdot E}} = 6.47 \times 10^5 \times \sqrt{\frac{9.8}{77 \times 2.0 \times 10^8}} = 16.32 \quad [\text{m/sec}] \dots(2)$$

ある（他は表 1 参照）。式(1)を実際の横締め鋼棒に当てはめると、式(2)で計算されるように、破断位置によらず、長短両部材ともに $v=16.32$ [m/sec] 程度の初速度を持って横締め鋼棒が飛翔することになる。したがって、長部材の運動エネルギーが短部材より必ず大きくなる。解析での初速度が $v=10.8$ [m/sec] 程度となっているのは、所定の破断応力に対して 7 割程度の応力で破断してしまったことによるものである。

2.3 運動エネルギーに関する考察 以上のシミュレーション解析から、突出防止工の設計時の要求性能は、①破断後の運動エネルギーが最大となる場合、すなわち破断位置が端部に近い場合の長部材が突出した際にも、コンクリートの落下を防ぐことができること、②破断後の運動エネルギーが最小となる場合、すなわち破断位置が中央でも横締め鋼棒が破断しているか目視できる変形性能を有すること、であると言える。

3. 鋼棒の落下実験と解析

3.1 実験方法 長さ 2m、直径 ϕ 23mm の鋼棒を高さ 7.3m から落下させ、500×500mm の鋼板に 11.6 m/sec の速度で衝突させ鋼板の塑性変形量を測定する実験を行った¹⁾。鋼板の厚さは 2.5, 3.5mm の 2 種類で、それぞれについて 2~3 回実験を行った。鋼板の支持は、H 鋼で鋼板の上下を挟みシャコ万力で固定をすることにした。図 5 に本実験装置の概略図を、また写真 1 に実験後の鋼板の変形状況を示す。

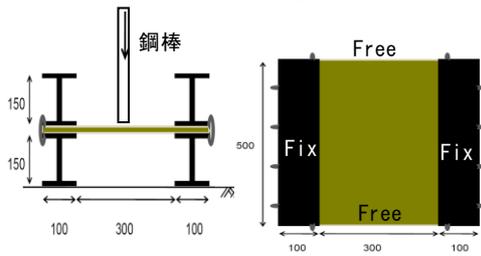


図 5 実験装置概略図(左:断面図 右:平面図)

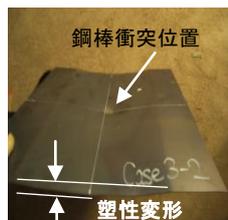


写真 1 鋼板の衝突実験後の塑性変形

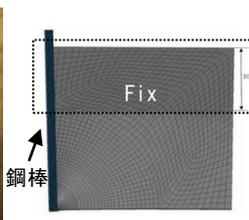


図 6 解析モデル図 (1/4 部分)

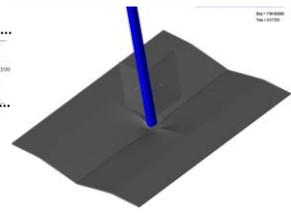


図 7 再現解析結果 (衝突後の塑性変形)

3.2 実験の再現解析 鋼板の拘束条件は図 5 に示すように、相対する縁端に対して、Fix-Fix, Free-Free としている。図 6 に解析モデル図（対称性を考慮して 1/4 部分についてのみモデル化したもの）を示す。材料特性として鋼の真応力-真歪み関係を与え、歪み速度効果を加味した。表 3 は鋼板の実験結果と解析結果の最大塑性変形量を比較したものである。全体的な変形の様子（図 7）と伴に、塑性変形量も良く合致する結果が得られた。

表 3 塑性変形量の比較表

鋼板厚 [mm]	2.5			3.5	
実験の塑性変形量 [mm]	26	25	24	16	17
解析の塑性変形量 [mm]	25			19	

4. おわりに

汎用衝撃応答解析ソフトを用いて、PC 桁の横締め鋼棒の突出速度に関する考察を行い、突出防止工の耐衝撃設計で考慮すべき突出速度、運動エネルギーなどの範囲を明らかにした。また、衝撃実験を再現した解析を行い、突出防止工の衝撃解析を精度良く行うための条件設定などモデル化に関する知見を得た。

[参考文献] 1) 宇佐美・長嶋：PC 桁横締め鋼棒の突出防止工に関する実験的検討、第 65 回土木学会年次学術講演会（2010. 9）