

鋼製剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の局部破壊に及ぼす先端形状の影響

防衛大学校 学生会員 ○岩佐 悠市 学生会員 三輪 幸治
正会員 別府 万寿博 正会員 大野 友則

1. 緒言

花火工場や火薬類製造所などで爆発事故が発生すると、爆発物や構造部材の破片が周囲に飛散して、構造物や人命に被害を与える可能性がある。したがって、コンクリート構造物の安全性を検討するためには、衝突によって生じる局部破壊の程度を精度よく評価することが不可欠である。既往の研究によると、飛翔体の質量、速度、剛性、直径および先端形状等がコンクリートの局部破壊に影響を与えることがわかっている。中でも、先端形状の影響は大きいことが指摘されているが、先端形状の影響を考慮している評価式は少ない。

本研究は、先端形状が異なる3種類の飛翔体をコンクリート板に高速度で衝突させ、コンクリート板の局部破壊におよぼす影響について検討したものである。

2. 先端形状が異なる飛翔体によるコンクリート板の局部破壊実験

2.1 高圧空気式飛翔体発射装置および飛翔体の概要

図-1に、高圧空気式飛翔体発射装置の概要を示す。この装置は、エアコンプレッサー、増圧装置、エアチャンバー、発射管（長さ：12m、内径：35mm）および操作・制御盤から構成される。飛翔体は、エアコンプレッサーおよび増圧装置で圧縮された空気の圧力によって発射される。飛翔体の先端形状を写真-1に示す。飛翔体は鋼製で、先端形状は半球型、円錐型（先端角60°）、平坦型（先端角180°）の3種類とした。飛翔体の直径は25mm、質量は50gである。

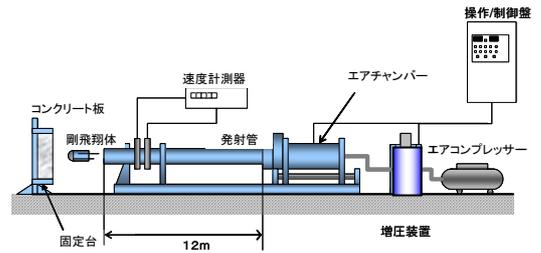
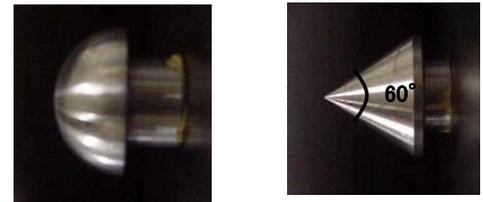
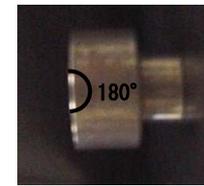


図-1 高圧空気式飛翔体発射装置



(a) 半球型

(b) 円錐型(60°)



(c) 平坦型

写真-1 飛翔体の先端形状

2.2 実験の概要

コンクリート板の寸法は、縦50cm×横50cmで、板厚は5, 7, 9, 13cmの4種類、強度は25N/mm²である。供試体は、発射管出口から1mの位置に設置し、上下2辺をクランプで固定した。実験は、3種類の先端形状を持つ飛翔体を速度200m/sでコンクリート板に衝突させ、図-2, 3に示すように、局部破壊の種類および表面と裏面の破壊深さについて調べた。実験ケースを表-1に示す。

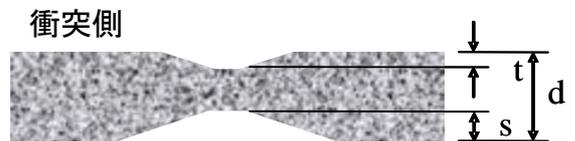


図-2 裏面剥離状態のコンクリート板 (t:表面破壊深さ, s:裏面剥離深さ, d:板厚)

2.3 実験結果および考察

(1) 表面破壊

飛翔体の先端形状が、表面破壊深さに与える影響について考察する。写真-2に、半球型、円錐型、平坦型の3種類の衝突による表面破壊の状況を示す。これより、いずれの形状とも、衝突部分には先端形状と同じような窪みが確認できる。



図-3 局部破壊の種類

図-4に、衝突速度200m/sの場合における表面破壊深さと飛翔体の先端形状の関係について示す。図は、表面破壊したケースのみを選んで示しているが、先端が鋭いほど表面破壊深さが大きくなるのがわかる。例えば、平坦型の表面破壊深さは0.5cm~1.5cmであったのに対し、円錐型では2.4cmであった。

(2) 破壊モード

飛翔体の先端形状が、破壊モードの推移に与える影響について考察する。コンクリートの局部破壊は、図-3に示すように、表面破壊、裏面剥離、貫通の3つの破壊モードに分類される。図-5に、衝突速度200m/sの場合における表面破壊深さ/板厚と飛翔体の先端形状の関係について示す。半球型、平

表-1 実験ケース

板厚(cm)	速度(m/s)	先端形状
13	200	半球
9		
7		
5		
13		
9		
7		
5		
13		円錐型(60°)
9		
7		
5		平坦
13		
9		
7		
5		

坦型では、表面破壊深さ/板厚が0.18~0.25、すなわち飛翔体が板厚の約20%前後貫入すると裏面剥離が生じているのに対し、円錐型では、飛翔体が約35%貫入しても裏面剥離は生じていない。すなわち、表面破壊深さ/板厚が裏面剥離発生に与える影響の度合いは、飛翔体の先端形状によって異なることが考えられる。

図-6に、飛翔体の衝突速度が200m/sのときに生じる局部破壊モードを板厚と先端形状の関係において示す。図中には、修正NDRC式による裏面剥離および貫通限界厚も示している。修正NDRC式では、表面破壊深さの評価において、先端形状の影響を形状係数N(鋭い:1.14 半球:1.0, 平坦:0.72)として与えている¹⁾。図-6から、半球型に関しては、実験結果と修正NDRC式による破壊モードはほぼ一致していることがわかる。しかし、板厚7cmのとき、修正NDRC式では円錐型および平坦型の場合はいずれも裏面剥離と評価されるが、実験では表面破壊であった。すなわち、衝突速度が200m/sのとき円錐型および平坦型に関しては、実験結果と修正NDRC式による破壊モードは一致しないといえる。したがって、円錐型および平坦型に対しては、修正NDRC式の裏面剥離限界厚さを修正する必要があると考えられる。

また、写真-3は、衝突速度200m/sで板厚7cmのときのコンクリート板断面の破壊状況を示している。これより、円錐型および平坦型の破壊モードは同じく表面破壊であることがわかる。ただし、写真-3(b)より、円錐型では、片側のみに1つのひび割れが生じ、写真-3(c)より、平坦型では、コンクリート裏面の広範囲にひび割れが発達しているが剥離までは至っていないことがわかる。一方、写真-3(a)半球型の破壊モードは裏面剥離である。すなわち、同じ衝突速度と板厚の場合、半球型の先端の場合が最も裏面剥離を生じやすいことがわかる。また、図-6から、板厚5cmの場合では円錐型は裏面剥離を乗り越えて貫通し、平坦型は裏面剥離が生じた。これより、円錐型は表面破壊が進行すると貫通し易く、平坦型は逆に貫通しにくいことがわかる。

3. 結言

本研究で得られた成果を以下に要約する。

- (1) 飛翔体の先端形状が鋭いほど表面破壊深さが大きい。
- (2) 飛翔体の先端形状が円錐型および平坦型の場合の破壊モードは、修正NDRC式とはあまり一致しなかった。円錐型および平坦型に対しては、裏面剥離限界厚さを修正する必要があると考えられる。
- (3) 衝突速度一定の場合、裏面剥離は半球型が生じやすいことがわかった。また、円錐型は表面破壊が進行すると貫通しやすく、平坦型は貫通しにくいことがわかった。

今後、先端形状の影響を考慮できる評価式を提案するためには、形状の違いに加えて、先端角度が局部破壊に及ぼす影響についても詳細に検討していく必要がある。

参考文献

1) R.P. Kennedy: A review of procedures for the analysis and design of concrete structures to resist missile impact effects, Nuclear Engineering and Design, 37, pp.183-203, 1976.

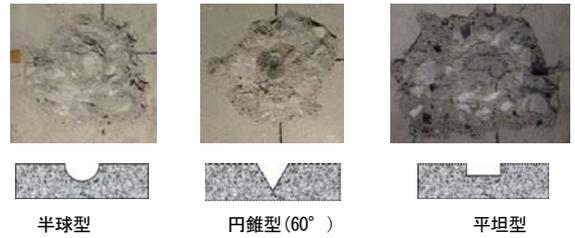


写真-2 表面破壊の状況

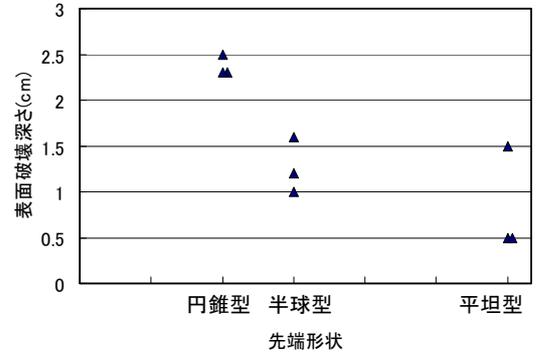


図-4 表面破壊深さと先端形状の関係(速度 200m/s)

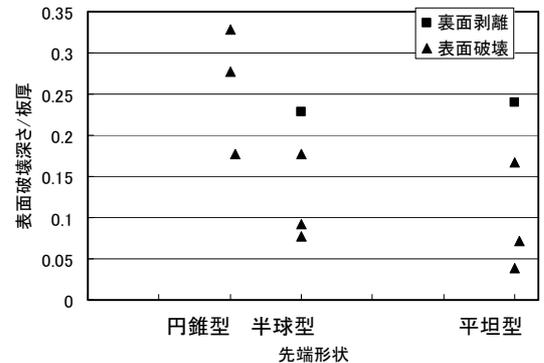


図-5 表面破壊深さ/板厚と先端形状の関係(速度 200m/s)

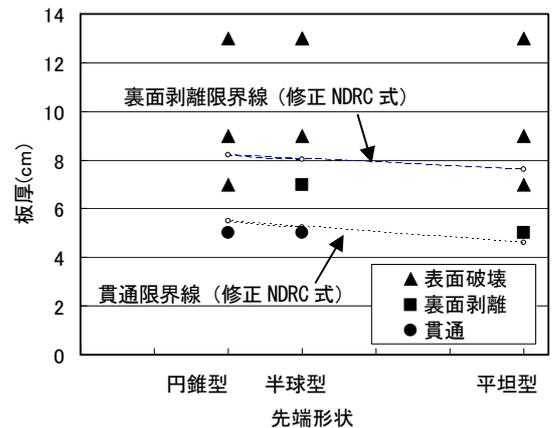


図-6 板厚と先端形状の関係における破壊モードの推移(速度 200m/s)

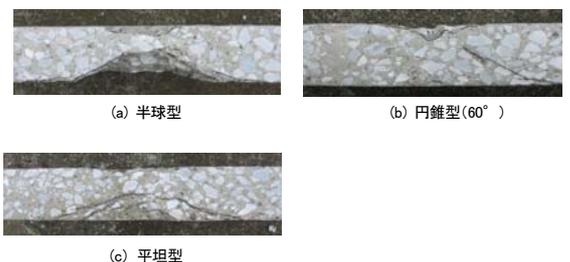


写真-3 衝突後のコンクリート板断面(200m/s, 板厚 7cm)