

剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の局部損傷および跳飛現象に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○山内 哲也 学生会員 三輪 幸治
正会員 大野 友則 正会員 別府万寿博

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、構造物や人命に二次的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できる手法が必要である。既往の研究における構造物に対する衝突問題では、垂直衝突を想定しているものがほとんどである。しかしながら、実際には斜めに衝突する場合も少なくないと考えられる。そこで本研究は、先端の鋭い剛飛翔体をコンクリート板に垂直及び斜めの角度で高速衝突させ、コンクリートに生じる局部的損傷について検討した。まず、飛翔体を垂直に衝突させる実験を行い、供試体に生じる局部破壊を調べた。次に、斜め衝突させた場合に、跳飛現象が生じる入射角およびその時の跳飛角について検討した。

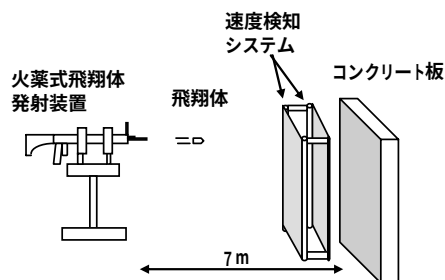


図-1 実験装置



写真-1 コンクリート板と速度検知システム



写真-2 飛翔体

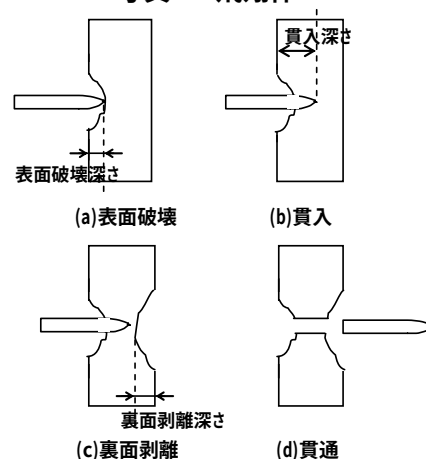


図-2 局部破壊の種類



写真-3 表面破壊の状況

2. 垂直衝突による局部損傷の評価

2.1 垂直衝突実験の概要

図-1 および写真-1 に、実験装置の概要を示す。7m 離れた位置に設置したコンクリート板（縦 30cm、横 50cm）に対して、火薬式飛翔体発射装置を用いて剛飛翔体を速度 350～850m/s で衝突させた。写真-2 に、実験に使用した剛飛翔体を示す。用いた飛翔体は、直径 0.78 cm、長さ 3.5 cm、重量 10.63g、鋼製である。コンクリート板の強度は 25N/mm^2 と 100N/mm^2 の 2 種類で、板厚は 3～15 cm の範囲で 10 種類作製した。

2.2 実験結果及び考察

図-2 に、剛飛翔体の高速衝突によって生じる局部破壊の種類を示す。コンクリートの局部破壊は、大きく 4 つの破壊モード（表面破壊、貫入、裏面剥離、貫通）に分類される¹⁾。写真-3 は、板厚 15 cm、衝突速度 850m/s のケースで生じた貫入の状況である。これより、約 3 cm の表面破壊深さが生じて、飛翔体の直径程度の貫入孔が確認できる。

板厚と速度の関係における破壊モードの発生状況を、図-3 に示す。同じ板厚では速度が増加するにつれて、同じ速度では板厚が減少するにつれて、表面破壊、裏面剥離、貫通へと破壊モードが異なってくるのがわかる。また、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

キーワード：剛飛翔体、斜め衝突、貫入深さ

連絡先：〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel: 046-841-3810(ex3521) E-mail: s50547@nda.ac.jp

している．実験結果との対応は，あまり良好でないと言える．**図-4**は，貫入深さ～衝突速度の関係を示したものである．これより，貫入深さは衝突速度とともに大きくなり，修正 NDRC 式で求めた値とほぼ一致していることがわかる．

次に，コンクリート強度が局部破壊に及ぼす影響を調べた．**表-1**は，それぞれ強度が異なる板厚 12 cm の供試体に対して，ほぼ同速度で衝突させた結果を示したものである．これより，高強度コンクリートは，普通強度コンクリートと比べて，貫入深さは約 35%，表面深さは約 18% 小さくなった．すなわち，コンクリート強度が大きくなると，貫通抵抗性が向上することが認められる．

3. 斜め衝突において入射角が跳飛現象に与える影響

3.1 斜め衝突実験の概要

正面衝突の実験と同様の方法で，飛翔体の斜め衝突実験を行った．入射角は 3 通り（ 45° ， 30° ， 15° ）とした．実験のパラメータはコンクリート板の強度（ 25N/mm^2 ， 53.5N/mm^2 ， 72N/mm^2 ）で，剛飛翔体の跳飛の有無，跳飛角，破壊モードを調べた．なお，**図-5**に示すように，跳飛とはコンクリート中に貫入することなく衝突後に空中に跳び出すことをいう．

3.2 実験結果及び考察

実験の結果，入射角が 15° ， 30° のときは跳飛現象が生じたが， 45° になると貫入または貫通で跳飛はほとんど生じなかった．**図-6**に，跳飛角と入射角の関係を示す．これより，跳飛角は入射角より小さい角度になることがわかる．**写真-4**に示すように，入射角 30° の場合の衝突位置では溝状の損傷が見られ，飛翔体が衝突してから跳飛するまで，板の表面と接触面を削りながら進行していることがわかる．

4. 結言

本研究で得られた成果を以下に要約する．

- (1) 先端の鋭い剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の裏面剥離限界厚，貫通限界厚が明らかになった．
- (2) コンクリートの強度が増すと，貫通抵抗性が向上する．
- (3) コンクリートが斜め衝突を受けると， 30° 以下では跳飛し，そのときの跳飛角は入射角より小さくなる．

表-1 コンクリート強度の違いの比較

コンクリート強度 (N/mm^2)	速度 (m/s)	破壊モード	貫入深さ (cm)	表面破壊深さ (cm)	表面破壊面積 (cm^2)
25	812	貫入	9.54	2.79	107.08
100	847	貫入	6.22	2.3	103.69

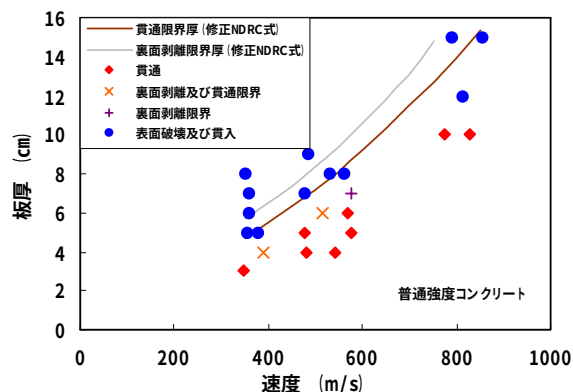


図-3 修正 NDRC 式と実験結果の比較

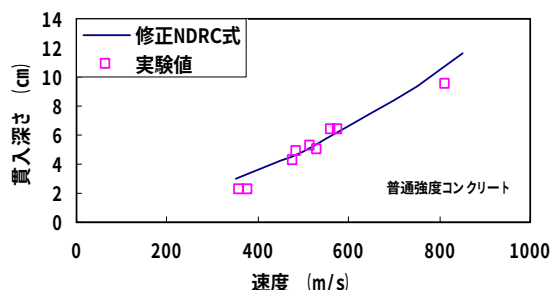


図-4 速度と貫入深さの関係

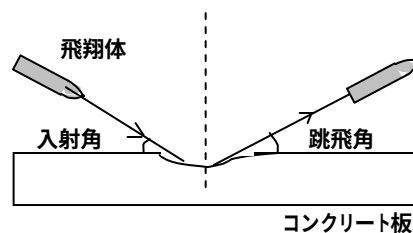


図-5 跳飛現象

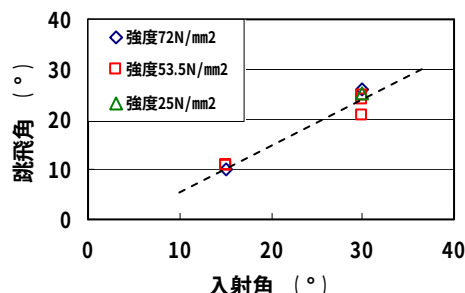


図-6 斜め衝突実験の結果

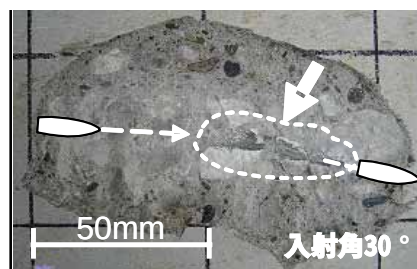


写真-4 衝突後の板表面

参考文献

- 1) 土木学会衝撃問題研究小委員会：構造物の衝撃挙動と設計法，土木学会構造工学シリーズ 6，pp.275～292，平成 6 年 1 月