

コンクリート構造物の衝撃摩耗に関する研究

九州産業大学工学部 学生会員 ○白井 崇尋

九州産業大学工学部 フェロー会員 豊福 俊泰

1. まえがき

コンクリート構造物のうち、コンクリート舗装版やダムの水叩きなどのように著しい外力が表面に作用するものは、摩耗による損傷が生じる。そこで、摩耗現象を解明して対策を講じるため、摩耗に及ぼす各種の要因を解明する試験研究を進めてきた。本研究は、これまでの試験結果を総括してデータ解析したものであり、コンクリートの品質、外力（衝撃力）の大きさ、速度などの相違が、摩耗に及ぼす影響を検討した。

2. 試験方法

摩耗試験は、図-1の装置により、外力として鋼球を落下する方法によって行った。試験計画は、表-1に示すように、供試体の種類ごとに、外力として鋼球の種類（鋼球、アルミ球、中空鋼球）、鋼球の質量、接地圧、衝突速度および衝突角度を組み合わせそれぞれ変えた。衝突速度は、図-1に示したように、落下高さによって変える方法とした。供試体は、寸法が15cmの立方体とし、普通コンクリート6種類の生コンクリートを使用して製作し、養生方法を水中養生および空气中養生とした。

試験は、水中養生供試体は湿潤状態、空气中養生供試体は乾燥状態でそれぞれ行い、鋼球の落下回数は800回までとした。摩耗量は、体積、深さを測定したが、最大摩耗深さ(mm)で代表させることとした。落下速度は $\sqrt{2gh}$ （g：重力加速度）で、接地圧は、鋼球質量(g)/最大断面積(cm²)で求めた。

3. 試験結果と考察

(1) 落下回数と摩耗量との関係

落下回数と最大摩耗深さとの関係は、供試体の種類、鋼球の衝突速度、鋼球質量ごとに、それぞれ図-2、図-3、図-4に示すとおりである。摩耗は、供試体表面のモルタル厚さに相当する最大摩耗深さ2mm程度までは、ほぼ直線的に進行している。深さ5±3mm程度では、勾配が次第にゆるやかになる変曲点となっており、摩耗量の差が生じる。さらに、これを超えると再び直線的に摩耗し、供試体の種類、鋼球重量、衝突速度による摩耗量の差が大きくなっている。

(2) 各種要因と摩耗量との関係

摩耗量とコンクリートの圧縮強度、供試体の養生条件、鋼球の衝突速度、鋼球質量、接地圧、衝突角度との関係は、図-5～図-10に示すとおりである。コンクリートの品質は圧縮強度が大きいほど摩耗

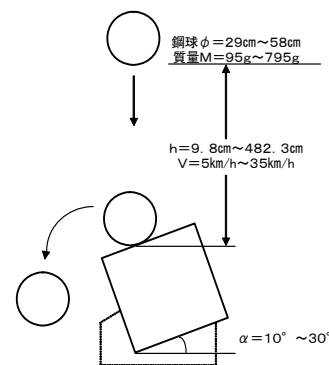


図-1 磨耗試験装置

表-1 供試体と外力の種類

供試体の種類		外力(鋼球)					
供試体の種類	養生条件	鋼球名	質量 M (g)	直径 φ (mm)	接地圧 S	落下速度 V (km/h)	衝突角度 α (°)
普通15	水中養生	100	95	29	36	5 (9.8cm)	10
普通20		300	321	43	55	10 (39.4cm)	
普通30		500	508	50	65	15 (86.6cm)	
普通45		800	795	58	75	20 (157.5cm)	
普通60	空气中養生	アルミ	183	50	23	25 (246.0cm)	30
普通65		中空	327	50	42	35 (482.3cm)	

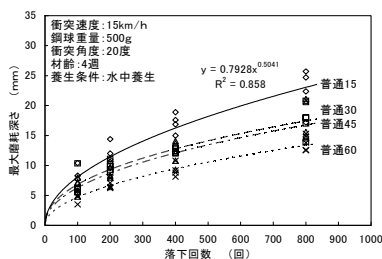


図-2 落下回数と摩耗量（供試体の種類）

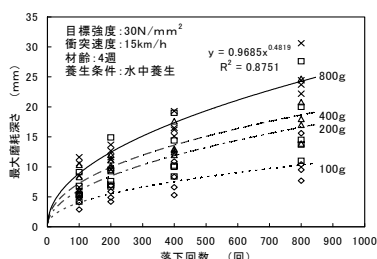


図-3 落下回数と摩耗量（鋼球重量）

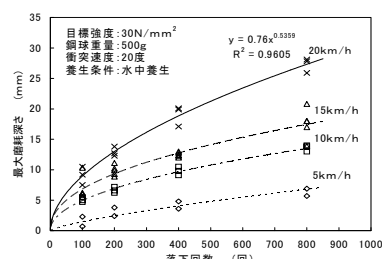


図-4 落下回数と摩耗量（衝突速度）

量が小さくなる傾向が認められるが、水中養生の供試体は空气中養生の供試体に比べ圧縮強度が高いが摩耗量も大きい(図-5, 図-6 参照)。

外力の大きさは、供試体に与える衝撃力が大きいほど、すなわち鋼球の衝突速度が速く質量および接地圧が大きく衝突角度が小さいほど、打撃による衝撃力が大きくなるため、摩耗量が大きくなっている(図-7～図-10 参照)。この傾向は、タイヤチェーンの場合と同様である。接地圧は、同一径(アルミ、中空と密度が変化)の場合と異径(鋼で密度が同一)の場合の差は小さいが、大径の方が摩耗量が多い傾向がある。また、衝突角度は、 $\alpha(^{\circ})$ より $\cos^2\alpha$ で表す方が摩耗量との相関性が高くなっている(図-11 参照)。

(3) 各種要因と摩耗量との関係式

これらの各種要因と摩耗量との関係を、重回帰分析によって解析した。

解析方法は、変数増減法($F_{IN}=F_{OUT}=2.0$)とした。変数とした項目は、供試体の品質として圧縮強度 f'_c (N/mm²)、養生条件 Y (1: 空气中養生, 2: 水中養生)、外力である鋼球の落下回数 N (回)、衝突速度 V (km/h)、鋼球重量 M (g)、接地圧 S (g/mm²)、衝突角度 C ($\cos^2\alpha$) の 7 項目であり、目的変数である最大摩耗深さ Ad(mm)との関係を累乗式で求めた。

解析結果は、(1)式および図-12 に示すとおりであり、下段の () 内は t 値を示す (n: データ数, R: 重相関係数, e_s : 誤差の標準偏差)。

$$Ad = 10^{-2.0426} \times N^{0.4997} \times V^{1.0661} \times f'_c^{-0.4119} \times Y^{0.5654} \times M^{0.2843} \times S^{0.3784} \times C^{0.0411} \quad (1)$$

(120.9) (92.3) (-45.2) (26.6) (19.9) (12.8) (3.5)

(n=2707, R=0.949, $e_s=1.51$ mm)

(1)式から、最大摩耗深さ Ad に対して最も影響が大きいのは、落下回数 N であり、次に衝突速度 V、コンクリートの圧縮強度 f'_c 、養生条件 Y、鋼球重量 M、接地圧 S、衝突角度 C の順となっており、多数のデータから高精度の重回帰式が求められており、普遍性があるものと考えられる。

4. まとめ

コンクリートの摩耗の各種要因と摩耗量との関係は、重回帰分析によって累乗関数 (1)式が求められた。摩耗量に影響が強い要因の順番は、落下回数、衝突速度、コンクリートの圧縮強度、養生条件、鋼球重量、接地圧、衝突角度である。

参考文献

- 1) 武田康介・豊福俊泰・亀井頼隆: コンクリート構造物の耐摩耗性に関する研究, 平成 13 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. A-582～A-583, 2002. 3

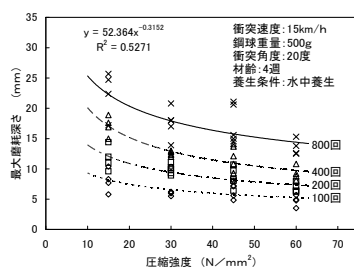


図-5 圧縮強度と摩耗量

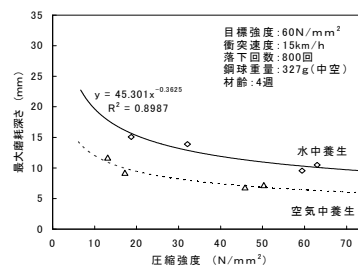


図-6 養生条件と摩耗量

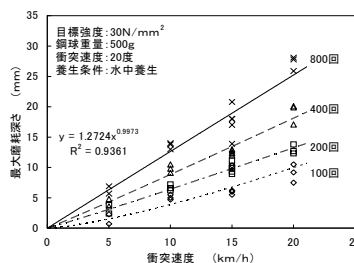


図-7 衝突速度と摩耗量との関係

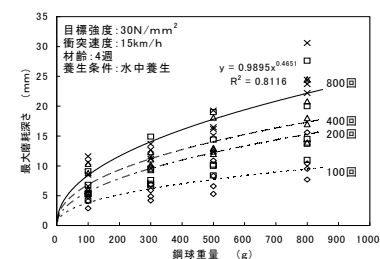


図-8 鋼球質量と摩耗量との関係

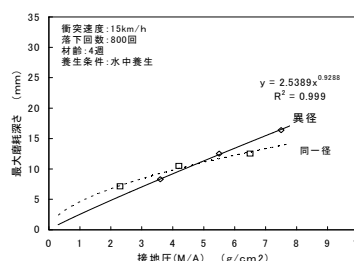


図-9 接地圧と摩耗量

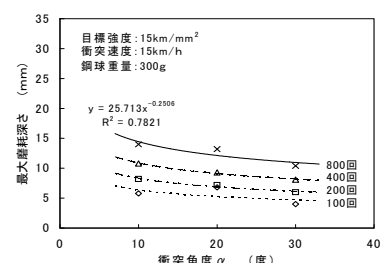


図-10 衝突角度 α と摩耗量

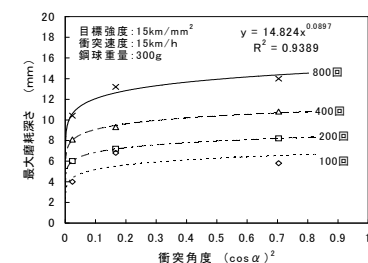


図-11 衝突角度 $\cos^2\alpha$ と摩耗量

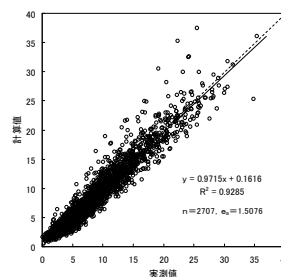


図-12 (1) 式の実測値と計算値