

V-6 コンクリートの摩耗に関するトライボメトリーについて

北海道工業大学 正会員 堀口 敬

1. はじめに

摩耗を一口に定義することは難しいが、一般的には「固体表面間の相対運動の結果として起る物体の操作面からの物質の逐次損失」¹⁾と定義されている。摩耗に関する研究は、レオナルド・ダ・ビンチ以来数多くの研究者によつて行なわれてきたが、それらの科学的な研究分野としてのトライボロジーの確立は1966年であり、ある意味では非常に新しい分野ともいえる。それ以降、トライボロジーに関する研究論文は、年間8000以上世界各国で発表されている²⁾。それにもかかわらずトライボロジーのように科学技術のおおくの分野にまたがる複雑な問題は、その解析に限界があるようである。しかし少なくとも工学的に対応するに充分な摩耗機構の解明は不可能ではなく、かつ重要な研究課題であると考ええる。コンクリートの摩耗に関する研究は、従来から各方面で行なわれているが、その研究結果をいかに実際のトライボ技術の適用例と対応させるかという点には問題がある。その理由の一つには、トライボロジーのシステム工学的な手法が適用されていない実状にある。例えば、インプット・アウトプット表示が定義し難い試験機を用いたり、あるいはシステム要素の類似性(相似性)に欠けるといった問題がある。本報告は、トライボロジーのシステム工学を利用してコンクリートの摩耗機構を解明するための基礎的研究であり、その第一歩としてシミュレーション法摩耗試験の機能を検討したものである。

2. トライボメトリーシステム法による摩耗試験に

おいてまず最初に考慮しなくてはならないことは、実際のコンクリートの摩耗現象のデータを集め、それになるべく一致するシミュレータを製作する必要がある。もちろんシミュレータのインプット構造は、できる限り簡単明瞭であることが望ましい。図-1はシミュレーション法トライボ試験の概要を示している。図中の各要素に関しては、要素1)にコンクリートを、要素2)には対象とするコンクリ

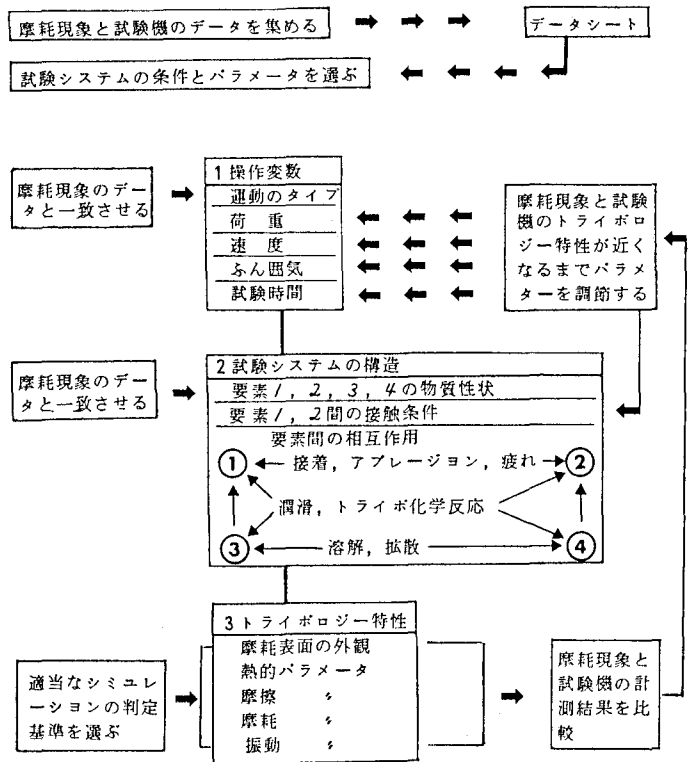


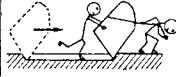
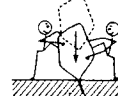
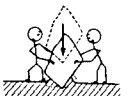
図-1 シミュレーション法トライボ試験の概要³⁾

ートの摩耗現象により異なる材料を設定する。要素3)は潤滑材で、コンクリートの摩耗現象の場合は特に存在しない。要素4)はふん囲気で、スパイクタイヤ等によるコンクリートの摩耗現象の場合では水、氷或いは雪が相当する。

- 操作変数 実際のコンクリートの摩耗現象とのよりよい相関性を求めるためにまず、操作変数の中で運動のタイプを考えてみる。トライボロジー携わる研究者がよく用いる間接的な方法として、
- 運動のタイプ 摩耗表面の観察がある。また表

-1は橋本による摩耗機構の分類の表である⁴⁾。表面の外観を調べることにより摩耗のタイプをより適切に決定できるわけである。G Z I C O Sは運動のタイプと摩耗機構との関係を相互作用している要素も含めて分類している⁵⁾。この二つの表において、表-1は主として摩耗

表-1 摩耗機構の分類⁴⁾

種類	摩耗の状態図	有効分力	材料特性	材料例
切削		水平	広範囲	各種
き裂		垂直	かたくて もろい	ニハード鋳鉄 マルテンサイト鋼 ガラス シュメルツバサルト
疲労		水平 垂直	やわらかく 粘い	フェライト鋼 アルミニウム プラスチック ゴム
凝着		垂直	やわらかく 粘い	#

粉の生成機構に基づいた分類法であり、表-2は、摩耗システムの機能による分類である。ところが、実際の摩耗現象は摩耗粉の生成機構に関しても単一の運動のタイプからなることは極めて少なく、摩耗システムの機能による運動のタイプでも然りである。シミュレータ法摩耗試験を用いる場合には常にこの種の問題が生じる。摩耗シミュレータとして運動のタイプを組み合わせることは、摩耗システムとしてのシミュレータのインプットシステムの解析を難

表-2 摩耗の分類⁵⁾

相互作用している要素	摩耗機構 相対運動のタイプ	主として 応力による 相互作用		応力による 相互作用+ 物質間の 相互作用	
		表面磨れ	アブレーション	接着	トライボ化学反応
固体/固体 (金属、 ポリマー、 鉱物、等) 潤滑剤が 存在する場合 または 存在しない場合	 すべり				
	 ころがり				
	 衝撃				
	 振動				
固体/液体	 流れ				
固体/流体 +粒子	 流れ				

耗に費やされるエネルギー量)までもが算定できないような結果が生じる。基本的には摩耗機構を解明するために摩耗シミュレータのインプットエネルギー量による。コンクリートの摩耗機構を解明する目的で現在提唱されている理論は、Rabinowicz²⁾による凝着摩耗理論を応用したもの¹⁾、あるいは、Lawnによるエネルギーバランス理論を応用したもの⁹⁾等がある。

表-3は世界各国で発表されたコンクリートの摩耗試験による研究報告を表-1, 2の分

- 摩耗理論

● 摩耗
試験機

類法に基づ

表-3 コンクリート摩耗シミュレータ

いてまとめ
たもので、
表中のトラ
イボロジー
特性では、
主として摩
耗パラメー
タを記入し
た。この
表によれば
、圧縮強度
を摩耗パラ
メータとし
て用いた報
告が特に多
い。これは
実用上コン
クリートの
力学的性状
を推定する
場合最も多
く用いられ
るパラメー
タであるた
めであろう
。各研究報

試験機の名称	研究者	要素2の材料	主な相対運動のタイプ	摩耗機構	トライボロジー特性 (摩耗パラメータなど)
Le Manege de Pont a Mousson	Requirand, R. 6)	スパイクピン 変化	衝撃 すべり	き裂 接着凝着 疲労	回転半径 / 3 m ~ / 5 m 通過回数 ピン重量 締固め度
Accelerated Polishing Machine	Krenchel, H etal. 7)	同上	同上	同上	圧縮強度 粗骨材量 各種ファイバー量
Road Wear Simulator	Cantz, R. 8)	同上 変化	同上	同上	ピンの性質(本数, 重量, フランジの直径, 突起 量など) アンダーレッド 回転速度
スパイクタイヤ 摩耗試験機	戸川 ち 9)	同上	同上	同上	反発係数と摩耗粉の平均 粒径 限界ひずみエネルギー解 放率
同上	堀口 ち 10)	同上	同上	同上	摩耗粉形状 限界応力拡大係数 反発係数
Secoueur Californien	Baron, J. et al. 11)	鋼球(一定) +水	衝撃	同上	摩耗表面の比較 圧縮強度, 引張強度
Abrasion Test Apparatus	Liu, T.C. 12)	鋼球(変化) +水	同上	同上	骨材の硬度(Mohs Scale) 骨材の摩耗量, 種類 圧縮強度 水セメント比
衝撃摩耗試験機	太田 ち 13)	鋼球(一定)	同上	同上	衝撃エネルギー
Secoueur Californien	堀口 ち 14)	鋼球(一定) +水	同上	同上	ヤング率 J 値
フレッティング 摩耗試験機	井上 ち 15)	鋼製研磨材	同上	同上	曲げ強度
Abrasion Mach	Yuan 16)	岩石のビット	すべり	切削	各種ファイバー量
タイヤチエーン 摩耗試験機	戸川 ち 17)	タイヤチエー ン	衝撃	接着(凝 着), き裂	応力拡大係数 反発係数と摩耗粉の平均 粒径
ワイヤブラシ式 摩耗試験機	堀口 ち 18)	鋼ブラシ	すべり	切削	単位セメント量 圧縮強度
掃流式摩耗試験機		砂+水	衝撃	き裂, 疲労 接着	応力拡大係数 ファイバー量

告のうちに要素2)のインプットを変化させた場合は、その結果が大きな影響をアウトプットに及ぼした場合のみ表中のトライボロジー特性の欄に記入した。Requirand の研究は、1/2年以上前から実施され、その摩耗シミュレータは、回転半径が9~15m まで変化可能な、摩耗シミュレータの原寸大サイズのものである。要素の2)に相当するタイヤ部の駆動は、前進、後退速度がそれぞれ60 Km/h および7 Km/h まで変化する。この試験に要する費用が莫大なため、相関の高い室内試験機が必要となり、そのシミュレータの完成型が Le Secoueur Californien 試験機である。Baron ちの報告によれば、この二つの摩耗シミュレータの相関は非常に高い相関を示し、20 分間の摩耗運転時間に対して5万回通過時に相当することを示している。この摩耗シミュレータを用いて Baron ちは換算損失摩耗速度を導きだしている。一方 Cantz は Road Wear Simulator が完成するまでの過程を初期のシミュレータから4種類に分けて詳しく報告している。要素間の運動のタイプが実際の摩耗現象とのシミュレーションを重ねるたびに「すべり」から「衝撃」へと移行していくのは Baron ちの報告と一致する。

3. まとめ

シミュレーション摩耗試験に関するシステム工学的な解析の第一歩としてトラトボメトリーに関する分類を行なつたわけであるが、以上の結果をまとめてみると次のようになる。

1) スパイクタイヤ等による摩耗現象に関するシミュレータの場合は、トライボロジー特性として次のパラメータが重要な因子となる。

◇回転半径の影響；シミュレータの要素 1), 2)間の運動タイプがコンクリート / タイヤ型の場合は、少くとも 10 m 以上にしないと実際の摩耗現象との相関は低くなる⁶⁾。

◇スタッドピンの形状；Cantz によれば、ピン重量を 1 g から 3 g に増加させると動的衝撃力は 3 倍以上増え、フランジ直径を 0.3 in. から 0.4 in. にすると 1.5 倍ほどになる。その他、突起量、アンダートレッド、タイヤとの関係などが要因となる。

2) 鋼球(十水)による衝撃摩耗試験機は実際のスパイクピンによる摩耗現象と大きな相関を示し¹¹⁾、これは通常走行時のスパイクピンとコンクリート表面との運動のタイプが衝撃の要素を多く含んでいることを示している。このことは、馬庭が示したタイヤの運動の理論とよく一致する²⁰⁾。さらにこの試験機の利点は、インプットエネルギー量が容易に算出できることである。

3) 衝撃が主となる運動のタイプの摩耗理論に関しては、き裂による摩耗機構の適用がよい相関を示す^{9), 14)}。そのパラメータ

として、表面エネルギー、限界ひずみエネルギー解放率あるいは、き裂伝播能力に関係する限界応力拡大係数及び J 積分値等がパラメータとなる。

4) コンクリートの骨材(特に粗骨材)が摩耗機構に影響を及ぼすことは、Baron らの説明する摩耗現象に関するモデル図でよく説明される。¹¹⁾ (図-2)

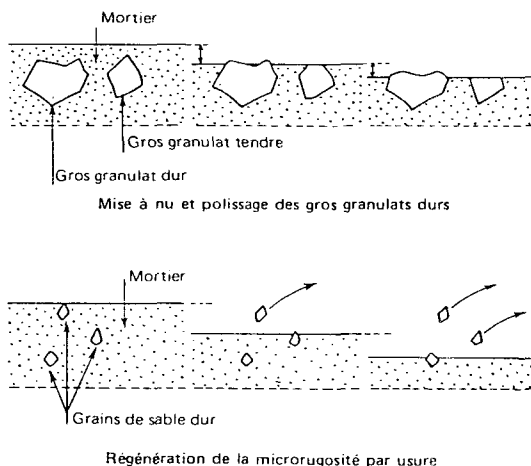


図-2 道路摩耗の2つの現象¹¹⁾

● 参考文献

- 1) Tribology - A Glossary Terms and Definitions, Organization for Economic Co-operation and Development, OECD Paris, 1969.
- 2) Documentation Tribology ; BAM Berlin, W. Germany / 1977.
- 3) チコス H. 桜井俊男監訳；トライボロジー 講談社 / 1980
- 4) 橋本建次；粉体摩耗の対策 日刊工業新聞社 / 1981
- 5) Czichos, H. ; Tribology Tribology Series / Elsevier / 1978
- 6) Requirand, R. ; Les pneus à crampons Essais sur les revêtements et les équipements Bull. Liaison Labo. P. C. 63, / 1973.
- 7) Krenchel, H. et al ; Wear Resistance of Fiber Reinforced Concrete, Nordisk Betong, / 1982.
- 8) Cantz, R. ; New Tire-Stud Developments, HNB 4/8, / 1972.
- 9) 戸川 et al ; モルタル、コンクリートの衝撃摩耗特性に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集 No. 252 / 1979
- 10) 堀口 et al ; 鋼繊維補強コンクリートの摩耗性状, 第1回コンクリート工学講演文集, / 1979. 及び土木学会年報, 第35回, / 1979
- 11) Baron, J. et al ; Éléments de réflexion sur Usure et la Rugosité des Revêtements en Bétons Hydraulique. bull. Liaison labo. P. C. 77, / 1973.
- 12) Lieu, T. C. ; Abrasion Resistance of Concrete, A. C. I. journal no. 78 29, / 1981
- 13) 太田 et al ; コンクリート舗装のすりへり試験, 第12回日本道路会議論文集, / 1977.
- 14) 堀口 et al ; 鋼繊維補強ポリマーセメントコンクリートの摩耗について, 土木学会北海道支部論文報告集, / 1983.
- 15) 井上 et al ; 舗装コンクリートの砂と硬さが異なるモルタルの摩耗試験, セメント技術年報 XXXI, / 1977
- 16) Yuan, R. L. ; Abrasion Test for Fiber Reinforced Concrete, RILEM Symposium / 1978.
- 17) 戸川 et al ; タイヤチェーンによるモルタル、コンクリートの摩耗特性に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, no. 248, / 1976
- 18) 堀口 et al ; 鋼繊維補強コンクリートの摩耗に関する3種の試験, 土木学会年報, 第35回, / 1980.
- 19) Rabinowicz, E. ; Friction and Wear of Materials, John Wiley and Sons inc. / 1965.
- 20) 馬庭 ; タイヤ自動車用タイヤの知識と特性, 山海堂, / 1979.