

論文

[1116] コンクリートに関する各種の摩耗試験法の特性について

正会員 ○堀口 敬(北海道工業大学土木工学科)

正会員 猪又 稔(北海道工業大学土木工学科)

1. はじめに

コンクリートの耐摩耗性は、摩耗作用が予測される各種の構造物に対しては非常に重要な性質である。しかも、コンクリートの摩耗現象は、その表面に作用する外力の特性によって大きく異なり、非常に複雑な機構を構成する。従ってコンクリートの実構造物の摩耗作用を効果的に制御するためには、まずそこで発生する摩耗機構を把握することが必要となる。次に、その対策として作用している外力を軽減する方法を調査し、同時に効果的な耐摩耗施工あるいは材料の選択を検討することになる。コンクリートの摩耗試験法の重要性の一つは、この耐摩耗性を目的とした施工方法や材料の選択にある。つまり、実際の摩耗現象に対応した加速試験を行い理論的かつ能率的に最適な材料を選択することである。しかしながら、国内で規定されている摩耗試験法は非常に少なく、多様化する摩耗現象に的確に対処するためには今後の開発が望まれるところである。

本研究は、コンクリートの摩耗試験法の規格化を最終的な目的として国外で標準化されている三種類の試験法に加えて筆者らが提案する摩耗試験法と共にその基礎的な特性について検討を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 摩耗試験装置

室内摩耗試験装置が具備すべき重要な項目として；a) 試験の精度および再現性が高く、b) 設定因子にたいして十分敏感であり、c) 摩耗損失量と試験時間との関係が線形性を有し、d) 構造が単純で経済性に優れており、最後に意外ではあるが、e) シミュレーションを重視しないこと、がある。シミュレーションの重要性は周知のことであり、ある意味では摩耗試験法の最終的な目的でもある。しかしここで敢て指摘したのは、過去100年以上に渡って実施されてきた数多くのセメント系材料の摩耗試験結果にもかかわらず未だに摩耗現象が明確に把握されていない原因の一つが、余りにもシミュレーションを重視するために作用する外力や摩耗機構の把握が疎かになってしまったことにある。実構造物による原位置での摩耗試験を除き、室内における摩耗試験において実際の摩耗現象を再現することは、その複雑性、あるいはそれに要する経済性や能率性を考慮すると非常に難しいのである。以上のことから、本研究ではd), e)の項目に合致した四種類の試験法を選択し、b), c)の項目について検討を行なったものである。また、a)の項目についてはすでに報告[1, 2]されているためここでは省略することにした。

本研究で採用した四種類の摩耗試験法は、米国ASTMで規格されている三種類と著者らが提案する表面疲労摩耗試験である。表面疲労摩耗試験は図-1に示すように八個の鋼球の鉛直方向からの衝撃作用によってコンクリート表面を摩耗させる構造のもので、基本的な摩耗機構としては、近年規格化されたASTM C 1138と類似したものである。簡略のために、この試験法をSF試験と呼ぶことにする。このSF試験法の細部に関する構造等に関しては、既に他の文献[3, 4]で詳細な報告を行っているためここでは省略する。他の三種類の試験装置は、いわゆるドリルプレス型を

その構造の基本としているものの図-2から図-4に示すように供試体表面に作用する摩耗形態がそれぞれ異なる構造を有している。すなわち、図-2にその概要を示す小型ドレッシングホイールによる摩耗試験は、ASTM C 944に規定されているRotating-Cutter試験法であり、交通荷重による舗装路面の摩耗性状を把握する目的で広く適用されているものである。本研究ではこの試験法をRC法と呼ぶことにする。また、図-3および図-4に示す試験装置は、ASTM C 779に規定されているB法とC法にそれぞれ準拠して製作したものであり、いずれもコンクリート表面の摩耗試験法として一般に広く使用されている方法である。図-3に示すB法は、RC試験に用いられるドレッシングホイールよりも大きな径のものを用いて供試体を摩耗させる構造のものであり、この試験法をDW試験と呼ぶことにする。また、C法は回転するボールベアリングによって供試体を摩耗させる構造のものであり、以下この方法をBB試験と呼ぶことにする。

2.2 摩耗試験方法

SF試験は振動周波数を8Hzとし、八個の鋼球はその直径が9/16インチのものである。試験時間は通常60分としているが、直線性の検定に関してはそれ以上の時間で実施した。

ASTMで規定されているRC試験、DW試験、及びBB試験に共通して言えることは、これらの試験方法が回転をしている要素が鉛直荷重を受けながら供試体表面に作用している点である。すなわち、要素はRC試験、DW試験に関してはドレッシングホイールであり、BB試験ではボールベアリングである。これらの要素がRC試験、DW試験及びBB試験に関して、夫々200rpm、56rpm及び1000rpmで回転し、10kgf、15kgf、及び10kgfの鉛直荷重が載

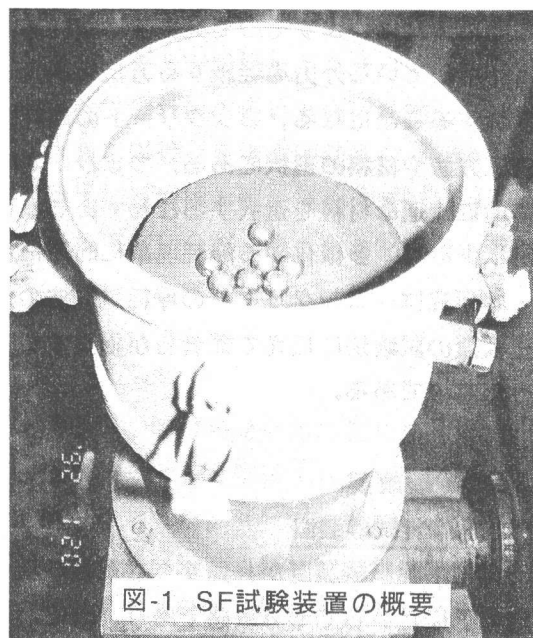


図-1 SF試験装置の概要

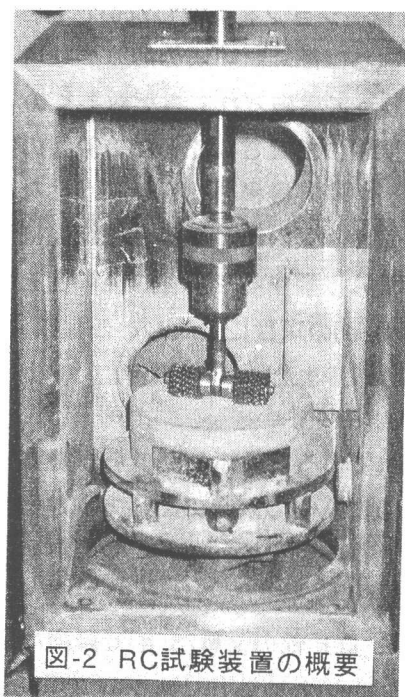


図-2 RC試験装置の概要

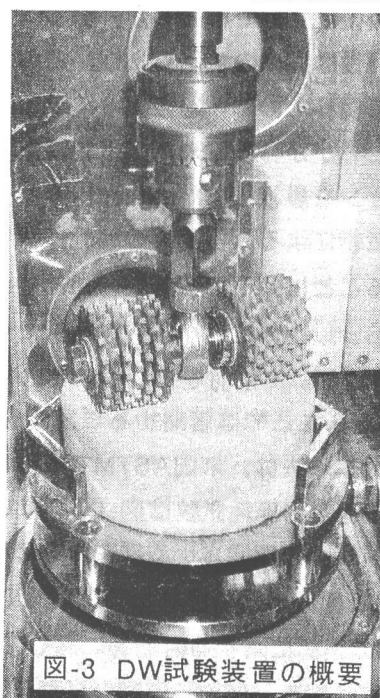


図-3 DW試験装置の概要

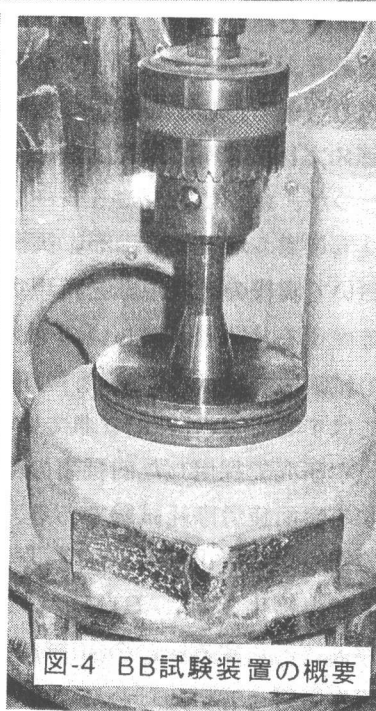


図-4 BB試験装置の概要

荷されている。また規定されている試験時間はRC試験は30分間、DW試験、及びBB試験は夫々60分間と10分間であるが、直線性の検討のため、それ以上の長時間にわたって検討を行なった。摩耗試験における環境条件としての水の存在は重要な要素である。本研究で採用した試験法のうち、供試体表面が常に水中にあるものは表面疲労摩耗試験であり、供試体表面を試験中に散水している試験法がBB試験である。

2.3 供試体および摩耗量の測定

本研究で用いた供試体は、コンクリート材料として最も均質な材料であるセメントペーストとした。その形状は四種類の摩耗試験装置に全て共通である直径150mm厚さ50mmの円型供試体である。配合は、直線性の検討に関する実験では全て30%の水セメント比のものを用い、配合因子の影響に関する実験では25%, 30%, 35%の3水準に変化させた。供試体は脱型後水中養生し、全て材令28日で実施した。また、摩耗量の測定に関しては、今回の報告では全て重量損失量で示した。ASTMの規格試験においては摩耗深さを規定しているものもあるが、ここでは全体的な統一を重視して重量損失を摩耗損失量として表した。

3. 試験結果とその考察

3.1 摩耗損失量と試験時間との関係

図-5から図-7はSF試験、RC試験、およびDW試験におけるそれぞれの摩耗損失量と試験時間との関係を示したものである。これらの図から、三種類の試験法は全て摩耗損失量と試験時間の関係が線形性を示し、試験時間の経過とともに直線的に摩耗損失量が増加することがわかる。また、図中にはそれぞれの

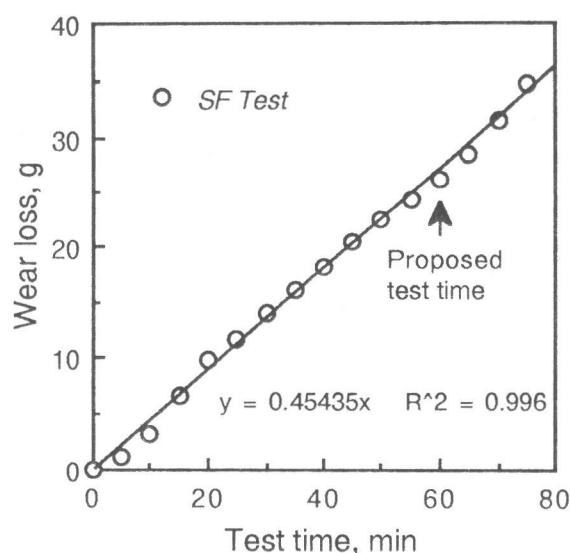


図-5 SF試験による摩耗量と試験時間との関係

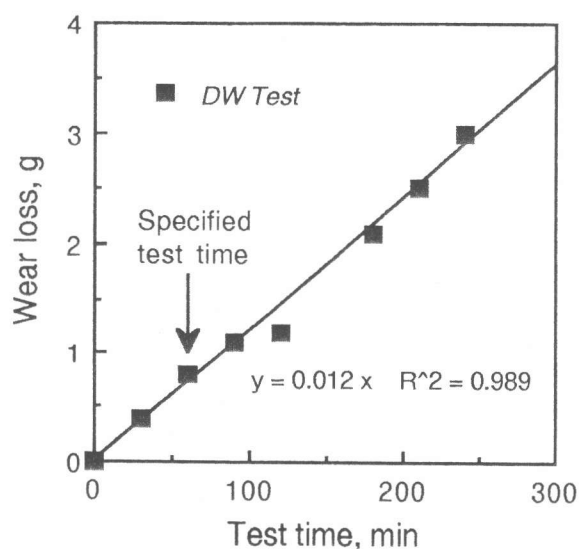


図-6 RC試験による摩耗量と試験時間との関係

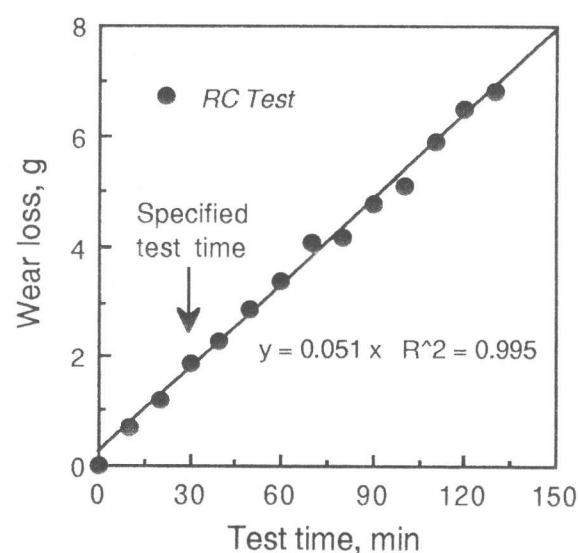


図-7 DW試験による摩耗量と試験時間との関係

直線式の決定係数を示したが、これら三種類の試験における直線性が非常に高いことを明確に示している。この結果から、これら三種類の試験法は今回設定した試験時間の範囲では摩耗機構に大きな変化が生ずることなく、安定した状態で摩耗が進行する試験法であるといえる。

図-8は、BB試験における摩耗損失量と試験時間との関係を示したものである。両者の関係は図中に示したような二次式で表され、試験時間の経過とともに摩耗損失量の増分が次第に減少することがわかる。この関係をさらに詳しく検討するために縦軸を摩耗深さにとり試験時間との関係を示したものが図-9である。BB試験法による摩耗損失量の非線形性は、この図からより明確に示され、時間経過とともに作用している摩耗機構が変化しているものと推察される。

また、図-5から図-8において、それぞれの図中には、規格試験で定められている試験時間を示した。これらの試験時間はいずれも試験装置の線形性が保たれている範囲であり、妥当な値と言えよう。とくにBB試験においては試験時間の設定に注意する必要があり、最大でも15分程度の試験時間が適当であるものと思われる。

次に、各試験装置における摩耗要素（例え

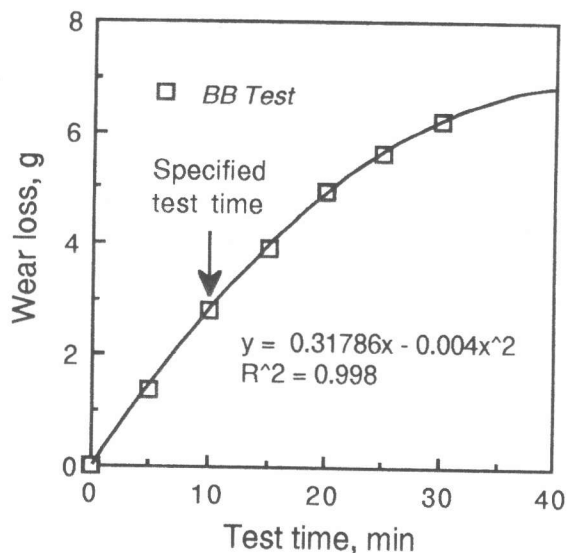


図-8 BB試験による摩耗量と試験時間との関係

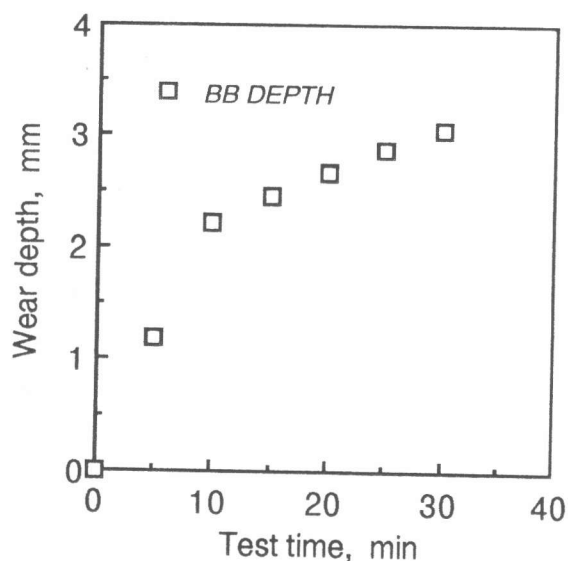


図-9 BB試験による摩耗深さと試験時間との関係

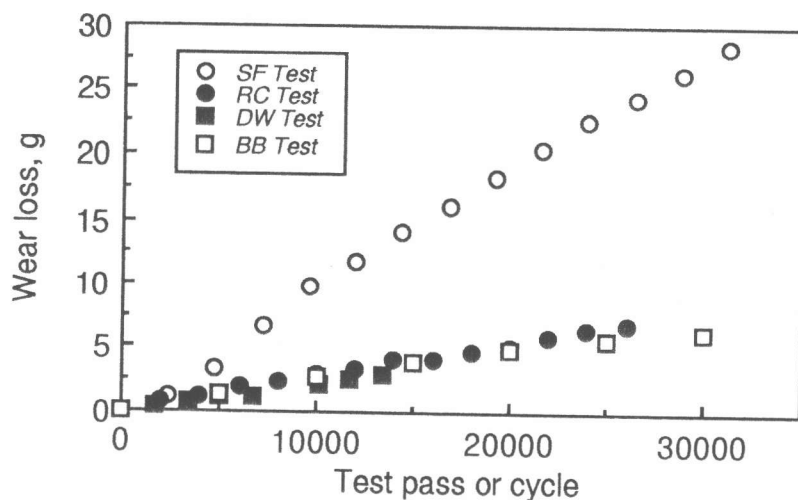


図-10 摩耗損失量と試験の通過回数との関係

ばRC試験におけるドレッシングホイール)の供試体表面を回転(あるいは上下動)する回数を試験時間と回転数の積で表し、通過回数と定義すれば、ASTMで規格されているRC、DW、およびBB試験ではそれぞれ6000回、3360回、および10000回となる。SF試験においては試験時間を60分に設定すれば28800回となり、他の三種類の試験法に比較して大きな値をとる。前頁に示した図-10は、四種類の試験法に関して、摩耗損失量と前述した通過時間との関係を示したものである。この図-10から、SF試験による摩耗損失量は他の三試験に比較して同一通過回数でかなり高い値を示していることがわかる。このことは、単位回数当たりの摩耗作用が他の試験法に比較してより厳しいことを示している。また、摩耗機構の上から見ても、鋼球による衝撃摩耗の形態を示し、他の試験法の摩耗機構と多少異なるものと推察される。また、RC試験、DW試験、およびBB試験に関しては、それぞれその構造が異なるものの通過回数当たりの摩耗損失量で比較すればそれほど顕著な違いは見受けられないことがわかる。

3.2試験の鋭敏性について

四種類の試験法によって得られた結果がどの程度コンクリートの配合因子に影響を及ぼすかを検討するために、その代表的な因子である水セメント比を取り上げ三水準に変化させて実験を行なった。規格試験である三種類の試験法による摩耗損失量と水セメント比の関係を示したものが図-11である。同様に、SF試験による摩耗損失量と水セメント比の関係を示したものが図-12である。両図から、全ての試験法において摩耗損失量は水セメント比の増加とともに直線的に増加することがわかるが、その傾向は摩耗損失量が大なるほど顕著であることがわかる。従って、水セメント比に代表されるコンクリートの内部の品質の差を敏感に反映させる試験法としては、SF試験法あるいは三種の規格試験の中ではBB試験法が適当であるものとする。しかしながら、今回の限られた水セメント比の範囲では総合的な判断は難しく、今後更に広範囲の検討が必要なものと考えられる。

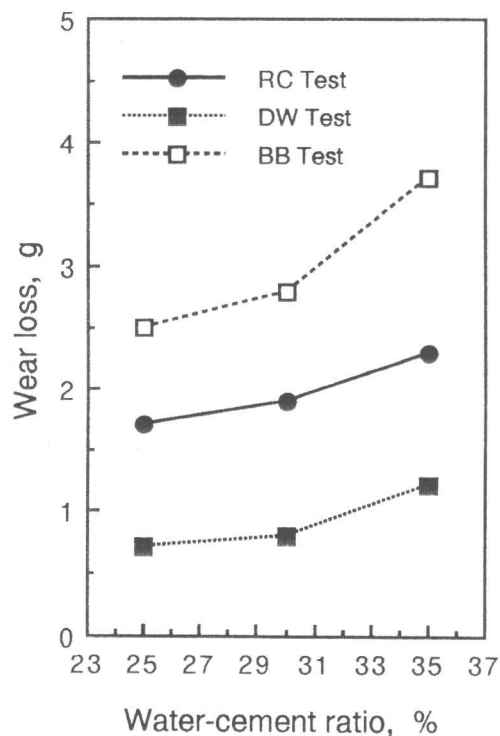


図-11 水セメント比が摩耗損失量に及ぼす影響

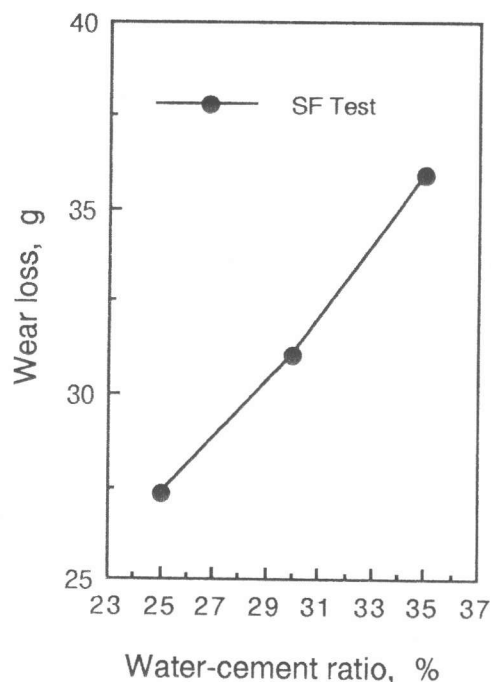


図-12 SF試験の水セメント比が摩耗損失量に及ぼす影響

4. まとめ

本研究は、コンクリートの摩耗試験法として現在国外で規定されている代表的な試験法として三種類の試験法と、著者らが提案する試験法を一種を加え、計四種類の試験法の基礎的な特性を把握し、今後の摩耗試験法の規格化のための資料を得ることを目的として検討を行なったものである。その結果から、得られた成果をまとめると以下のようになる。

1. 摩耗損失量と試験時間との直線性は、設定された試験時間内では全ての試験法に関して認められたが、BB試験については試験時間の増加に伴い上に凸の曲線関係を示すことが認められた。従って、試験時間の設定についてはBB試験においてとくに注意が必要である。

2. 試験時間と回転数（サイクル数）との積を通過回数として定義し、摩耗損失量との関係を調べた結果、SF試験では他の三種類の試験に比べ高い摩耗損失量を示し、他の三種類についてはほぼ同程度の摩耗損失量が認められた。このことは、一回当たりに供試体に作用する外力の大きさがSF試験ではかなり大きな値をとり、他の三種類の試験法ではほぼ同程度の値を取ることを示している。

3. 代表的な配合因子として水セメント比を取り上げ、それぞれの試験法による摩耗損失量への鋭敏性を検討した結果、SF試験が最も高い鋭敏性を示し、BB試験が次に続きRC試験とDW試験では顕著な結果を示さないことが明かとなった。この傾向は摩耗損失量の大小と一致しており、高い摩耗損失量を取る試験法がより配合因子の変化による影響を大きく受けていることがわかる。

5. おわりに

コンクリート構造物の摩耗作用は非常に複雑であり、そこで生じている摩耗機構も推定することは困難である。従来から、摩耗試験装置は実際に生じている摩耗現象をシミュレートすることを主目的とする場合が多く、この点に多くの力が注がれてきたのが現実である。ところが、本文の冒頭でも述べた様に、一つの摩耗現象をシミュレートするには膨大な費用と時間がかかり、この点に固執すると時には大きな失敗を招くことになる。従って、著者らはトライボロジー的な手法を提案してこの問題に対処することを示した。今後さらに、これらの試験装置の統計的特性、あるいは実際に適用するコンクリート供試体を使用した場合の各種の性状等を検討して行く予定である。

参考文献

- [1] 堀口 敬：表面疲労摩耗試験装置を用いたセメント系材料の摩耗性状について、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集、V-309, PP.672-673, 1989.10
- [2] ASTM C 670 - 91a: Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials, 1991 Annual Book of ASTM Standards
- [3] HORIGUCHI, T: Surface Fatigue Wear Properties of Fibre Reinforced Concrete, RILEM - From Materials Science to Construction Materials Engineering - (Edited by MASO, J.C.), Chapman and Hall, London, Vol.2, pp.406-413, Sep. 1987
- [4] HORIGUCHI, T: Surface Fatigue Wear Mechanism of Concrete, Proc. of 4th Int. Conf. on Durability of Building Materials and Components, Vol.2, pp.166-172, Pergamon press, Nov. 1987