

## 論文

## [1082] コンクリートの耐衝撃摩耗特性に及ぼす各種要因の影響

正会員 小柳 治 (岐阜大学工学部)

六郷恵哲 (岐阜大学工学部)

河合 敦 (愛知県)

正会員 ○近藤吉信 (岐阜大学大学院)

## 1. まえがき

コンクリートの摩耗現象は、表面に平行に力が作用するすりみがき摩耗と表面に直角に力が作用する衝撃摩耗が複雑に組み合わせられて生ずる表面の破壊現象であると考えられる。本研究ではコンクリートの摩耗現象のうち、衝撃摩耗については、表面に鋼球を直接落下させる鋼球落下試験を行い、コンクリート表面が乾燥または湿潤という2つの状態においてコンクリート強度、鋼繊維混入等の各種要因がコンクリートの耐衝撃摩耗特性に及ぼす影響について検討した。同様にコンクリート表面を直接すりみがき、すりみがき試験によって各種要因がすりみがき摩耗抵抗性に及ぼす影響について検討し、コンクリートのすりへり摩耗特性を2つの試験結果により対比検討した。

## 2. 実験概要

## 2. 1 衝撃摩耗試験

衝撃摩耗試験に用いた試験機は図-1に示すように、鋼球を10秒間隔で落下させる装置と落下した鋼球を所定の高さまで運ぶ装置とを組み合わせたものからなっている<sup>1)</sup>。鋼球落下高さ及び供試体衝撃角度はそれぞれ100cmおよび20°とした。供試体の寸法は15×15×20cmであり、試験は各供試体とも衝撃回数800回まで行い、200回毎に摩耗体積を測定した。摩耗体積の測定には油粘土によって空隙を置換する方法を用いた。また、湿潤状態での試験ではコンクリートの鋼球落下面に、常時水を流して行った。

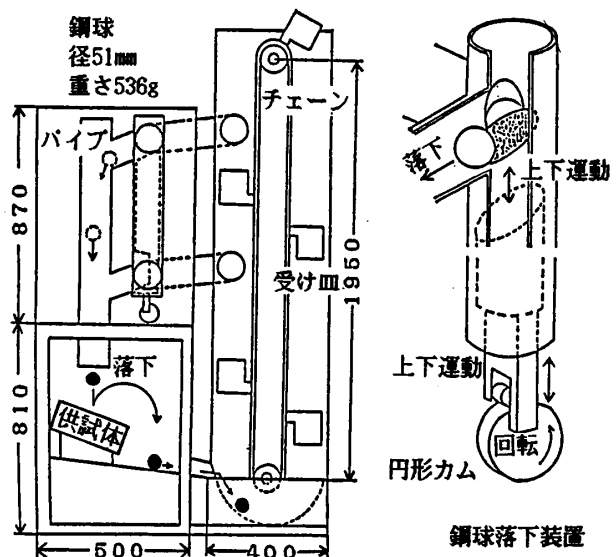


図-1 衝撃試験の概略図

## 2. 2 すりみがき摩耗試験

すりみがき試験はASTM C-779に定められたドーリー試験機を用いて実施した。試験は2時間行い、30分ごとにすりへり深さを測定した。供試体の寸法は、30×30×5cmで、各測定においては供試体試験面の対角線にそって5mmごとに摩耗深さを測定しそれら全ての平均値をその供試体のすりみがき摩耗の深さの代表値とした。なおこの試験は乾燥状態のみで行った。

表-1 供試体の種類

供試体の種類	コンクリートの種類	目標強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	鋼繊維混入量
N40	普通コンクリート	400	0%
F4.5	繊維補強コンクリート	"	0.5%
F41	"	"	1%
N80	普通コンクリート	800	0%
F8.5	繊維補強コンクリート	"	0.5%
F81	"	"	1%

### 2.3 供試体の種類

すりみがき摩耗試験及び衝撃摩耗試験に用いた供試体は、表-1に示すように目標強度400 kgf/cm<sup>2</sup>及び、800 kgf/cm<sup>2</sup>の普通コンクリートN40、N80と、目標強度400 kgf/cm<sup>2</sup>、と800 kgf/cm<sup>2</sup>のそれぞれに鋼繊維を1%混入した鋼繊維補強コンクリートF41、F81、また、0.5%鋼繊維を混入したF4.5、F8.5のあわせて6種類とした。鋼繊維は、φ0.5×30 mmのインデント付きストレートファイバーを使用した。各供試体の示方配合及びフレッシュコンクリートの諸試験値を表-2に示す。

表-2 コンクリートの示方配合及びフレッシュコンクリートの諸試験値

供試体の種類	粗骨材最大寸法(mm)	水比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/cm <sup>3</sup> )					減水剤 (cc/m <sup>3</sup> )	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
				W	C	S	G	鋼繊維				
N40	15	52	50	182	350	866	866	—	700	8.5	3.5	22.0
F4.5	15	51	50	186	372	848	848	39.3	740	9.0	2.5	22.0
F41	15	51	50	195	382	836	836	78.5	960	8.0	3.2	23.0
N80	15	30	45	157	525	792	966	—	1313	18.0	1.0	24.5
F8.5	15	30	46	158	527	781	881	39.3	1054	19.0	1.1	24.5
F81	15	30	47	160	533	770	868	78.5	1333	14.5	0.5	26.8

注) セメント：早強\*ポルトランドセメント 細骨材：川砂，比重2.60，F.M.2.64 粗骨材：玉砕石，比重2.60，F.M.6.28

減水剤：N40，F4.5，F41→PZ-70 N80，F8.5，F81→PZ-4000 鋼繊維：ストレート (φ0.5×30mm)

### 3. 結果と考察

#### 3.1 表面乾燥状態における衝撃摩耗試験

本試験で用いた6種の供試体の各々の摩耗体積と衝撃回数を図-2に、また、衝撃回数800回の各供試体の摩耗体積を図-3に示す。まずN80とN40についてコンクリート強度による摩耗体積の比較を行うと、摩耗体積はN80が全ての計測回数において、わずかではあるがN40の値を下回り、衝撃回数800回において、N80のN40に対する比率で12%程度の減少となった。次に 鋼繊維混入量による影響をみると、目標強度400 kgf/cm<sup>2</sup>のシリーズにおいて、F4.5、F41の摩耗体積はそれぞれN40に比べ約15%減少し、目標強度800 kgf/cm<sup>2</sup>のシリーズでは、F8.5、F81の値は、N80に対して約20%ずつの減少となり、表面乾燥状態では強度を増加させ、鋼繊維を混入することで耐衝撃摩耗特性は大きく改善されるものと考えられるが、混入量0.5%と1%での差は両シリーズにおいてほとんどみられなかった。

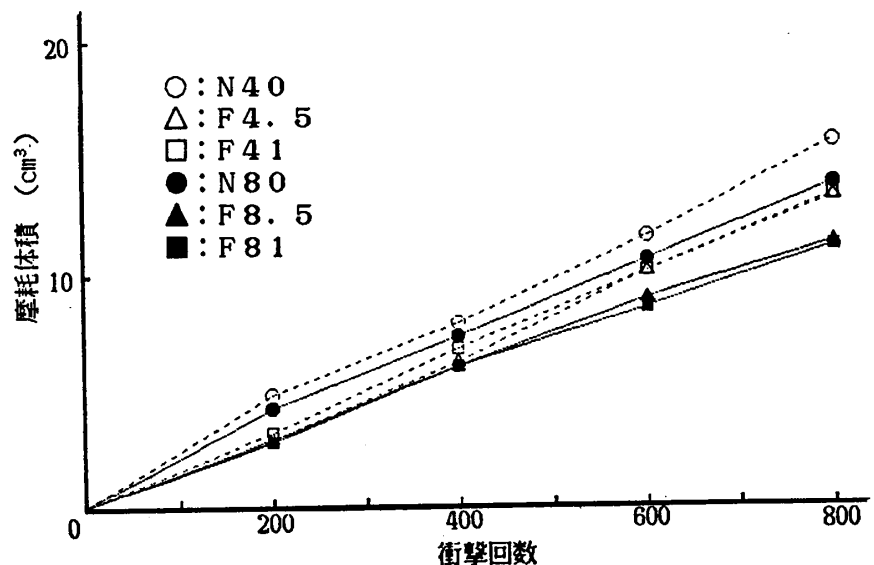


図-2 摩耗体積と衝撃回数の関係 (乾燥状態)

### 3.2 表面湿潤状態における衝撃摩耗試験

供試体の表面が湿潤状態である場合の、衝撃摩耗試験における摩耗体積と衝撃回数との関係を図-4に、また衝撃回数800回の各供試体の摩耗体積を図-5に示す。まず強度による摩耗量の比較を行うと、N80がいずれの計測回数においてもN40の値を下回り、衝撃回数800回のN80の摩耗体積の値はN40の値に対し35%程度低下しており強度を増加させることにより衝撃摩耗抵抗性は大きく改善された。一方、鋼繊維の混入による摩耗体積の変化をみると、目標強度400kgf/cm<sup>2</sup>のシリーズのF4.5と、F41の値は、N40の値をいずれの計測回数においても下回ったが、その摩耗体積のN40の値に対する比率をみると、F4.5は92%、F41では96%となり鋼繊維混入量を0.5%、1%と増加させることによる衝撃摩耗抵抗性の改善はあまりみられなかった。また目標強度800kgf/cm<sup>2</sup>のシリーズF8.5、F81の値はN80の値に対して、それぞれ96%、84%となり、鋼繊維混入量の増加に伴い摩耗量は減少した。すなわち、湿潤状態におけるコンクリートの衝撃摩耗特性に関しては乾

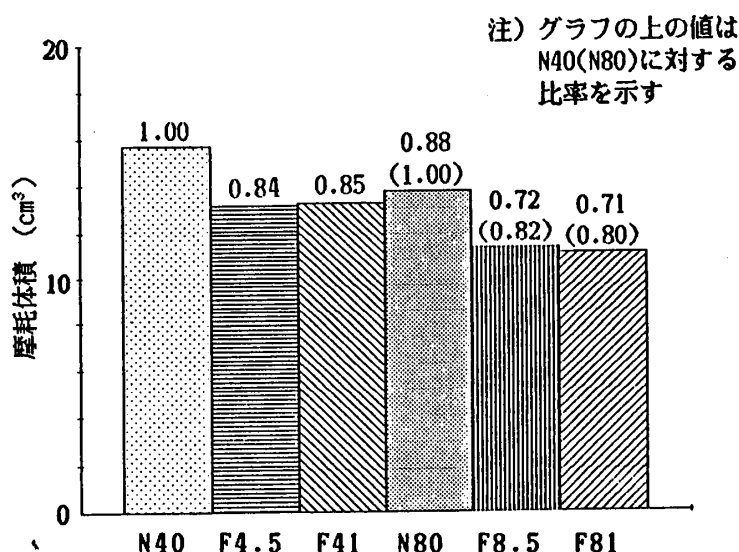


図-3 衝撃回数800回における摩耗体積 (乾燥状態)

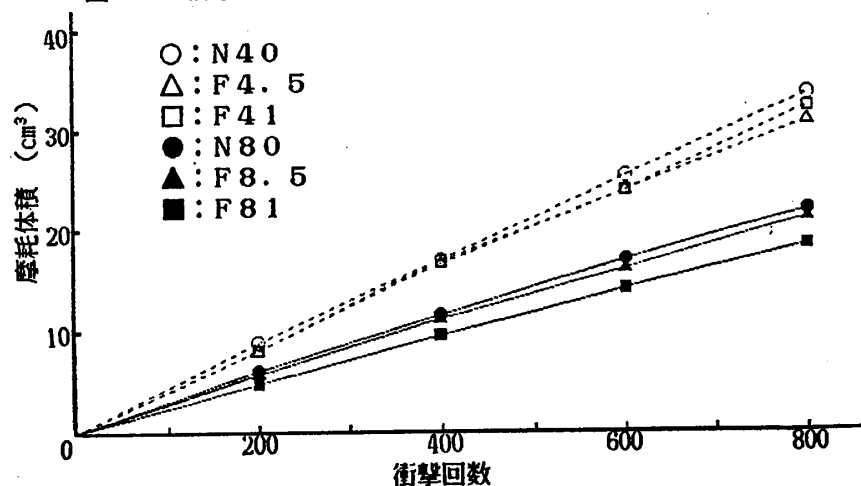


図-4 摩耗体積と衝撃回数の関係 (湿潤状態)

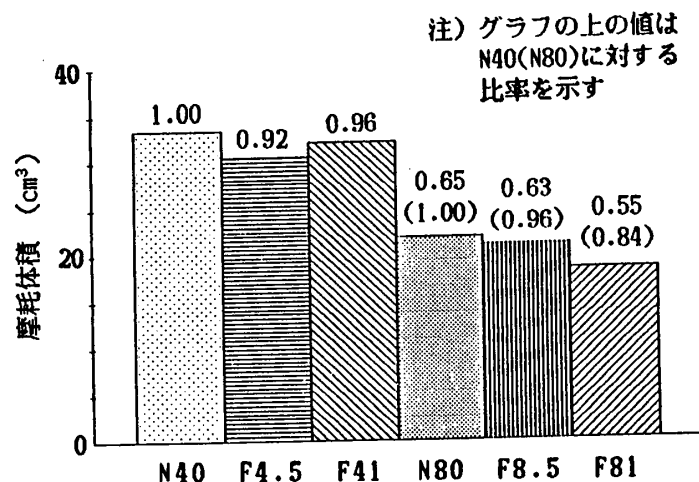


図-5 衝撃回数800回における摩耗体積 (湿潤状態)

乾燥状態において得られた結果と異なり衝撃摩耗抵抗性を向上させるためには鋼繊維を混入することよりもコンクリートの強度を増加させる方がより効果的である。なお、高強度コンクリートにおいては鋼繊維を混入することにより効果が上げられる。このことよりコンクリート表面湿潤状態における衝撃摩耗の破壊機構は乾燥状態のそれとは若干異なるものと考えられる。

### 3.3 すりみがき摩耗試験

各供試体のすりみがき試験のすりへり深さと測定時間の関係を図-6に示す。また、図-7にはすりみがき時間120分におけるすりへり深さの値を示す。まず、図-6より全ての供試体においてすりみがき時間30分までの初期摩耗においてはすりへり深さの時間に対する傾きは大きく、急激に摩耗量は増加しているが、その後傾きは徐々に緩やかになり60分以後はほぼ、直線的に摩耗量は増加している。これは摩耗初期では供試体表層の摩耗抵抗性の小さいモルタル部分がすりみがき作用により摩耗され摩耗量は大きであるが、その後骨材及び鋼繊維が現れるとこれらの影響によって、摩耗速度は時間に対して減少していくものと考えられる。

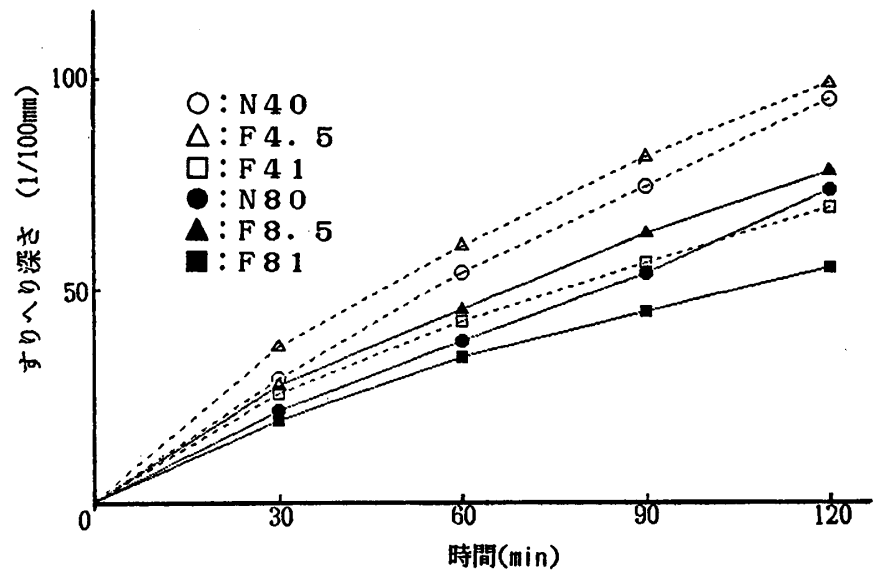


図-6 すりへり深さと時間の関係

次に、すりみがき摩耗特性におよぼす強度の影響を検討するため、普通コンクリートの供試体N40と、N80のすりへり深さを比較すると時間120分におけるN80のすりへり深さはN40の値に比べて20%以上の減少であり、強度を増加することによりすりへり深さは減少した。また、鋼繊維混入量の影響を検討すると、目標強度400 kgf/cm<sup>2</sup>のシリーズでは、鋼繊維混入量0.5%の供試体、F4.5のすりへり深さは意外に大きな値となり、普通コンクリートの供試体であ

注) グラフの上の値は  
N40(N80)に対する  
比率を示す

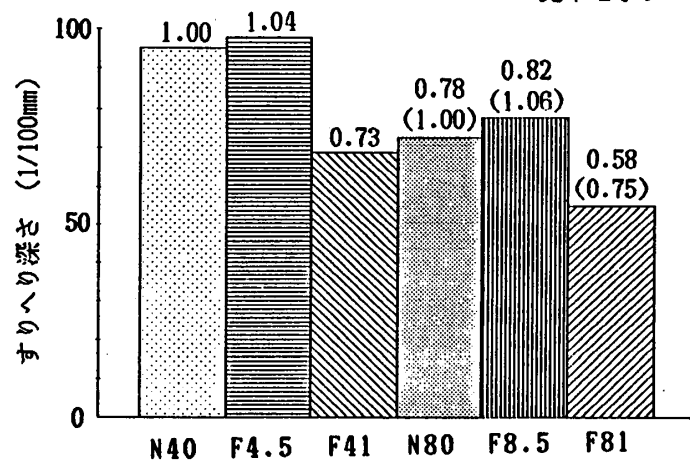


図-7 すりみがき時間120分におけるすりへり深さ

るN40の値に比べてわずかではあるが大きな値となった。しかし鋼繊維を1%混入したF41においてはすりへり深さは小さな値となり、N40の値に比べその比率は73%であった。また目標強度800kgf/cm<sup>2</sup>のシリーズにおいては、400kgf/cm<sup>2</sup>のシリーズに比べ、全体的にすりへり深さが小さくなっているが、F8.5のすりへり深さはN80の値よりも5%程度大きくなったこと、さらにF81のすりへり深さはN80の値に比べて25%程度小さくなったことなど、目標強度400kgf/cm<sup>2</sup>のシリーズと同様な傾向を示した。すなわち、本実験のようなすりみがき作用下における摩耗に対して鋼繊維を0.5%混入したコンクリートのすりへり深さは普通コンクリートに比べわずかではあ

るが大きな値となり、鋼繊維を混入することによる改善効果はほとんど認められなかった。しかし1%混入したコンクリートについては鋼繊維を混入することによりすりみがき摩耗抵抗性は大きく改善された。

3.4 衝撃・すりみがき摩耗試験の結果の検討  
本研究においてはすりへり摩耗をすりみがき摩耗と衝撃摩耗とが複雑に組み合わせられて生ずる表面の摩耗現象と考え、それぞれに対してすりみがき摩耗試験と衝撃摩耗試験を行った。これらの試験からすりみがき作用と衝撃作用のすりへり摩耗機構を検討してみた。図-8と図-9には、衝撃試験の表面が乾燥、あるいは湿潤状態における衝撃摩耗量の増分と、衝撃回数との関係をそれぞれ示し、また図-10には、すりみがき試験のすりへり深さの増分と時間の関係を示す。まず、衝撃摩耗試験では、乾燥状態においてN40、N80が衝撃回数200回までの増分が大きい他は、いずれ

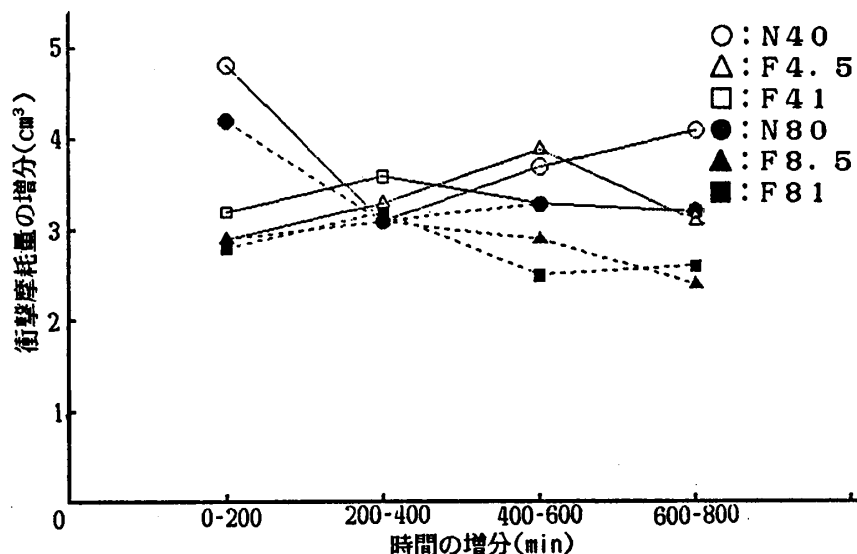


図-8 衝撃摩耗量の増分と衝撃回数の関係 (乾燥状態)

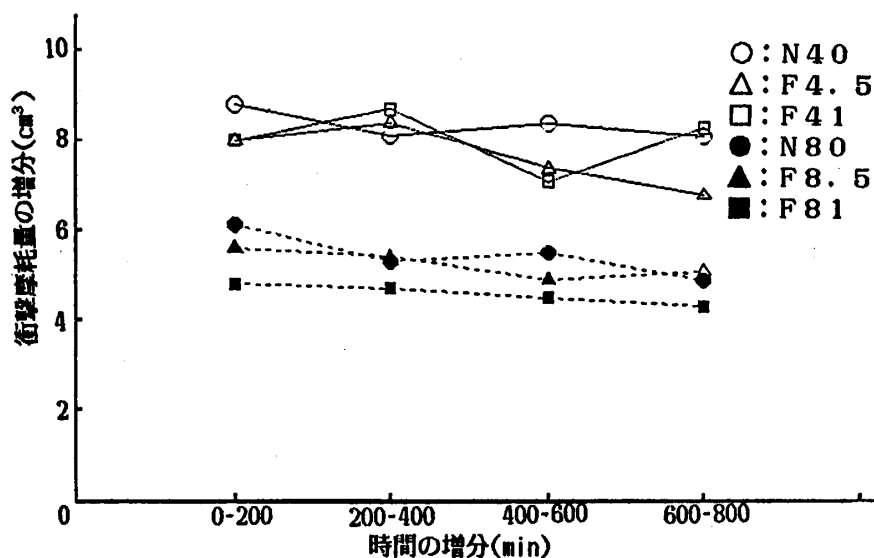


図-9 衝撃摩耗量の増分と衝撃回数の関係 (湿潤状態)

の種類においても時間の増分に対して衝撃摩耗量はほぼ一定である。一方、すりみがき試験では、初期時間におけるすりへり深さの増分が一番大きくその後時間が経過するにつれてすりへり深さの増分は、ほぼ一定値に落ち着く傾向を示している。これは衝撃摩耗が摩耗面の表面性状が常に一定している処女面摩耗に匹敵しているのに対して、すりみがきの摩耗形態は、摩耗初期ではモルタル部分がすりみがかれ摩耗量は増加するが、骨材や鋼繊維が現れることにより摩耗量の時間に対する割合は減少して定常摩耗に似た形態となったためである。

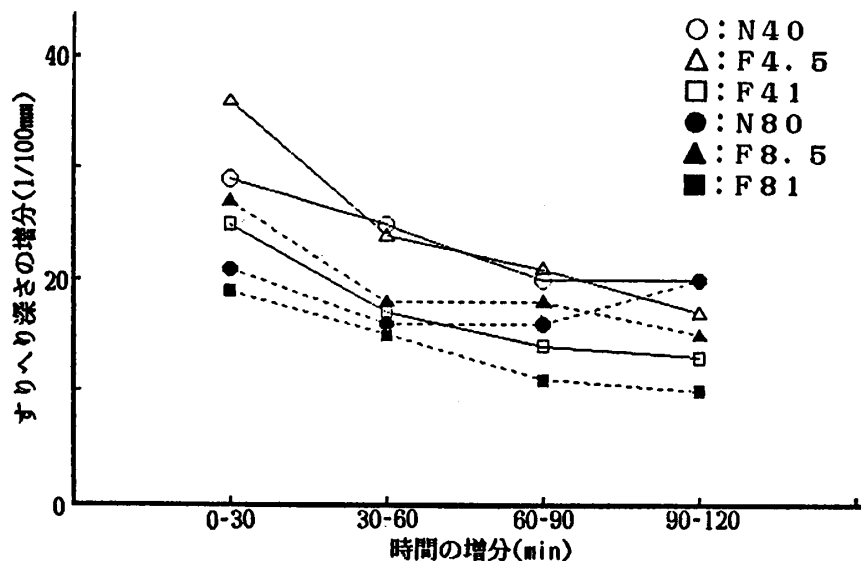


図-10 すりへり深さの増分と時間の関係

#### 4. まとめ

本研究の範囲内で得られた結論を示すと

(1) 乾燥状態におけるコンクリートの衝撃摩耗抵抗性は、普通コンクリートにおいては強度を増加させることよりも鋼繊維補強とすることにより、大きく改善された。しかし、鋼繊維混入量 0.5%と1%での摩耗量の差はあまり認められなかった。

(2) 湿潤状態におけるコンクリートの衝撃摩耗特性は乾燥状態のそれとは異なり、衝撃摩耗抵抗性はコンクリートに鋼繊維を混入することよりも強度を増加させることにより大きく改善された。

(3) コンクリートのすりみがき摩耗抵抗性を高めるためには普通及び鋼繊維補強コンクリートの強度を増加させることが効果的である。なお、鋼繊維補強コンクリートにおいては、0.5%程度の混入量ではその効果は明確でなかった。

(4) 衝撃摩耗は摩耗面の表面状態が常に一定している処女面摩耗に匹敵し、すりみがき摩耗は摩耗初期においては表層のモルタル部分がすりみがかれ摩耗量は増加するが、その後、骨材や鋼繊維が現れるとこれらが抵抗となり、時間に対する摩耗割合は減少し、定常摩耗に似た形態を示した。

(5) 衝撃及びすりみがき両作用下の摩耗に対しては鋼繊維補強高強度コンクリートとすることは効果的である。

#### 参考文献

- 1) 小柳 治、河合 敦、近藤吉信：コンクリートの衝撃摩耗について、セメント技術年報、41、昭和62年、pp.237~240