

# 廢콘크리트로부터 얻은 再生微粉末의 再活用 方案

徐 商 教

〈忠北大學校 建築工學科 教授〉

## 1. 서 론

환경보전(環境保全)·에너지 절약 및 자원의 유효 이용이라는 관점으로부터 건설부산물(副産物)이나 미이용자원의 건설재료에의 활용은 건설업계나 학계 모두가 시급히 해결해야 할 과제인 것은 주지의 사실이다. 특히, 그 중에서도 건설폐기물의 일종인 콘크리트 폐재의 재자원화는, 질이 좋은 천연골재자원의 고갈, 폐기콘크리트덩어리의 최종처분장소의 부족 및 불법투기에 의한 환경파괴 등과 같은 문제점들에 대한 해결방안의 하나로써 의의(意義)가 있을 뿐만 아니라, 이 지구가 존재하는 한 반드시 누군가에 의해서 해결되어야 하며, 건설에 관여하고 있는 연구자들 모두가 함께 고민하고, 자연을 보호하고 인류의 거주환경을 확보한다는 관점에서 시급히 해결하여야 할 지상명제인 것이다.

최근, 구조물의 해체공사 등에 의해 반드시 발생하는 콘크리트덩어리를 재처리해서 얻은 재생잔골재 및 재생굵은 골재를 이용하여 만든 재생콘크리트의 실용화 방안에 관한 연구·검토<sup>1)~5)</sup>는 활발하게 이루어졌으며, 그 연구결과 중에는 눈에 떨 만한 성과를 얻은 것도 있고, 연구결과를 그대로 콘크리트제품에 실용화할 수 있는 단계에 이르고 있다. 그러나, 콘크리트폐재의 재처리과정에서 자연적으로 발생하는 재생미분말(0.15mm

이하 크기의 입자, 이하 미분말이라한다.)에 관한 연구<sup>10)~13)</sup>는 거의 없으며, 이와같은 재생미분말은 콘크리트폐재의 재처리과정에서 20~30%정도 발생하는 것으로 알려져 있다. 이 미분말까지도 재생콘크리트를 제조하는데 이용할 수만 있다면 콘크리트폐재를 완전히 재자원화할 수 있을 뿐만 아니라, 특히 천연골재중 극심한 고갈현상을 일으키고 있는 모래의 부족을 어느정도까지는 해결할 수 있다. 또한 미분말의 분산에 의한 공기오염 및 수질 오염 등과 같은 환경 오염원을 제거할 수 있으며, 폐자재의 재자원화 및 국가적인 에너지절약 방침에도 일익을 담당할 수 있으므로 일거양득이다.

## 2. 연구목적

본 연구는 콘크리트폐재의 재처리과정에서 발생한 미분말을 재활용 할 수 있는 방안의 하나로써, 몰탈을 구성하고 있는 재료중 특히 모래의 일부로서 미분말을 혼합하였을 경우, 대체가 가능한지의 여부를 밝힐 것을 목적으로 하고 있다. 우선 재생콘크리트를 제조하기 위한 전 단계로서, 미분말을 잔골재의 일부로서 치환하였을 경우, 몰탈의 품질특성인 플로우치, 압축강도, 휨강도, 건조수축 및 질량감소등에 미분말 치환량의 변화가 어떠한 영향을 미치고 있는가에 대하여 검토

하고자 한다.

### 3. 시험개요

#### 3.1 사용재료

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(住友大阪시멘트)를 사용하였고, 비중은 3.15이다. 모래는 표준사(豊浦標準砂)를 사용하였다. 시험에 사용한 미분말은 쇄석제조공장에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 파쇄기를 그대로 사용하였다. 왜냐하면 재생골재를 제조하기 위하여 특별한 파쇄기를 사용하지 않고서도 일반 쇄석공장에서 사용하고 있는 파쇄기를 이용함으로써, 그 사용여부를 판단하기 위해서이다. Fig.1에 콘크리트폐채로부터 재생골재를 제조하는 공정을 나타낸다. 재생골재의 제조과정에서 자연적으로 발생하는 미

분말을 체 크기 0.15mm의 체로 쳐서 통과한 미분을 채취하였다.

미분말제조용 콘크리트는 40~60일 경과한 압축강도 시험용 시험체(Ø 10×20cm)로, 시험이 끝난 것들 이었으며, 압축강도는 300~400kgf/cm<sup>2</sup>의 것을 주로 사용하였다. 미분말의 비중은 르샤드리에 비중병을 이용해서 측정하였고, 겉보기 비중은 2.32였다. 체 크기 75µm의 체에 남는 재생 미분말의 잔류률은 31%였다.

참고적으로, 미분말의 화학성분 및 광물함유에 대해서 日本稱父小野田시멘트(株)<sup>①</sup>의 小野 등이 분석한 결과에 의하면, 미분말의 화학성분중에서 미분말의 불용잔분(Insolution)의 양은 대단히 많고, 미분말에 골재 성분이 상당량 혼입되어 있는 것을 알 수 있다. 미분말의 함유광물은 시멘트 수화물 및 골재에 관련된 광물이 거의 같은 양으로 포함되어 있다. 또한 전자현미경으로 미분말

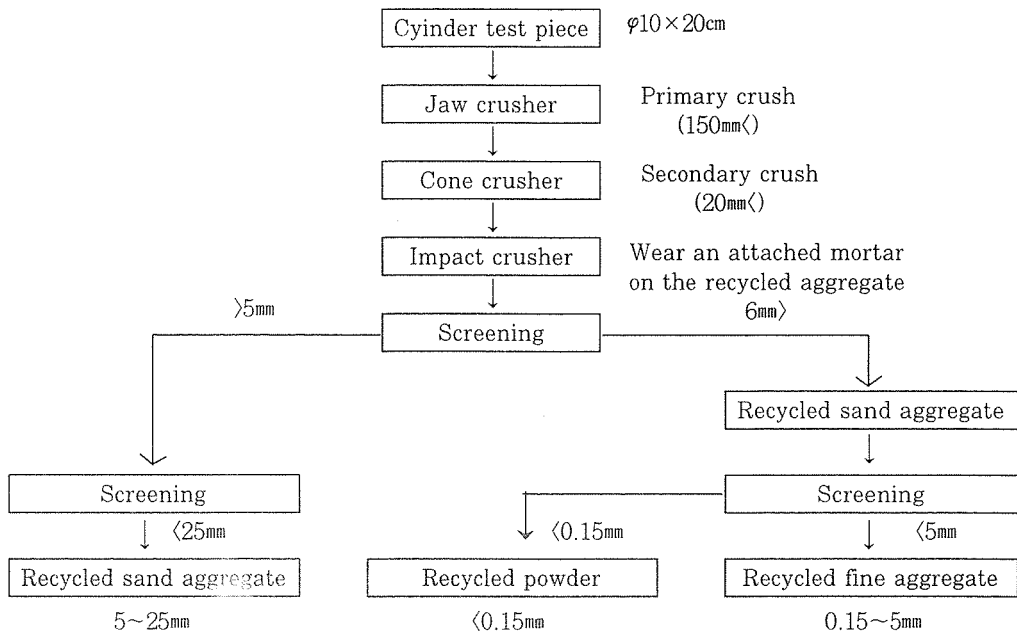


Fig.1 Manufacturing process for recycled aggregates and powders

① 山野義徳, 外 4人, "Fundamental properties of concretes with Recycled powders for waste of concretes", 秩父小野田研究報告, Vol. 46, No.129, 1995, pp.1~97.

을 관찰해 보면, 미분말은 재생골재를 제조할 때 생긴 골재의 미분 및 시멘트경화체의 수화물로 구성되어 있으며, 각각 독립적으로 존재하고 있다. 미분말의 형상은 일정하지 않고, 골재의 미분은 각이 깎겨져 있고, 둥근편이며, 미분말의 중심부에는 미수화시멘트가 잔존하고 있다는 것이 확인되었다.

### 3.2 몰탈의 배합 및 비비

몰탈의 배합은 Table.1에 나타낸다. 미분말을 혼입하지 않은 몰탈과 혼입한 몰탈과의 차이점을 알기위하여, 순수하게 시멘트, 미분말, 표준사만을 사용하였고 일체 혼화제는 사용하지 않았다. 미분말을 표준사의 일부로서 대체 할때는 표준사 단위중량의 3, 7, 15, 20 및 30%를 표준사의 내할(內割)로서 치환하였고, 몰탈은 일본공업규격 JIS R 5201 : 시멘트의 물리시험방법에 따라 제조하였고, 옴니믹스(Omni Mixer)를 사용하였다.

Table.1 Mix proportions of mortar used with recycled concrete powder

Substitution Percentage	W/C (%)	Quantity Rate of Materials			
		Water	Cement	Sand	Recycled powder
0	65	0.65	1	2.00	-
3		0.65	1	1.94	0.30
7		0.65	1	1.86	0.07
15		0.65	1	1.70	0.15
20		0.65	1	1.60	0.20
30		0.65	1	1.44	0.30

### 3.3 시험방법

1) 아직 굳지 않은 몰탈의 시험 : 몰탈의 플로우 시험은 JIS R 5201 시멘트의 물리 시험방법에 따라 실시했다.

2) 압축강도 및 휨 강도시험 : 몰탈의 압축강도 및 휨 강도 시험은 JIS R 5201에 의해 실시했

다. 시험체의 양생은 20℃±1℃에서의 수중양생을 실시하였다.

3) 건조수축시험 : 시험체(4×4×16cm)를 탈형한후, 20℃, 60% RH의 건조양생 조건하에서 정지(靜置)해 놓고, JIS R 1129(몰탈 및 콘크리트의 길이 변화 시험방법)에 따라 측정하였고, 기준 길이는 10cm로 했다. 재령 3, 7, 14, 28, 56, 84, 180일의 각 건조재령에 있어서의 길이 변화를 측정하였다. 측정기는 Contact gauge를 사용하였다.

4) 중량변화율시험 : 건조수축 시험과 동일 조건하에서 중량 변화를 측정하였다.

## 4. 시험결과 및 고찰

### 4.1 플로우치와 블리딩

Fig.2에 플로우시험의 결과를 나타낸다.

미분말을 표준사의 3%까지 치환한 경우에는 1 : 2 표준몰탈의 플로우치보다 약간 커졌다가 7%에서 동등한 값을 나타내는 것이 특징이었다. 그러나, 15%이상의 미분말을 혼입한 재생몰탈의 경우에는 1 : 2 표준몰탈과 비교해서, 플로우치는 미분말 혼입량의 증가와 함께 점차적으로 저감되는 경향을 나타내고 있으며, 30% 혼입시에는 220정도까지 작아졌다. 미분말 혼입 7%까지의 플로우치가 표준몰탈보다 크거나 동정도로 된 이유는, 비비는 도중에 시멘트 입자들이 형성한 플록(floc : 시멘트 입자의 덩어리) 구조속에 미분

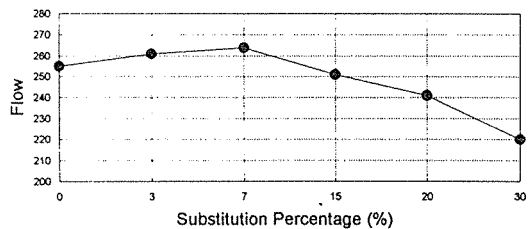


Fig.2 Results of flow test

유는, 비비는 도중에 시멘트 입자들이 형성한 플록(floc : 시멘트 입자의 덩어리) 구조속에 미분말이 침투하여 시멘트 입자상호간을 분리시키므로, 즉, 분산작용에 의해 플로우치가 커졌으며, 또한 미분말의 혼입량이 15% 이상이 되면, 미분말의 입자 표면에서 흡착되는 수량이 혼입량의 증가와 함께 비례해서 많아지기 때문에, 몰탈의 소성점도(塑性粘度)가 현저하게 증가하여 플로우치가 저감된 것으로 생각된다.<sup>①</sup>

한편, 목시(目視)에 의해 블리딩현상을 관찰한 바에 의하면, 시간이 경과함에 따라 블리딩수는 미분말의 치환량이 많으면 많아질수록 1 : 2 표준몰탈에 비해 작아지는 경향이 있었다. 따라서 표면마감 작업을 실시할 때는 블리딩수를 고려하여

표면마감작업의 타이밍을 조절 할 필요가 있다.

## 4. 2 압축강도

Fig.3에 몰탈의 압축강도 시험결과를 나타낸다. 재령 7일, 14일, 28일, 90일 모든 양생기간동안 강도의 발현성상은 양호한 편이었다. 그러나 초기 양생기간 7일의 압축강도의 경우에는 치환량 20%까지 1 : 2 표준몰탈의 강도와 거의 동등한 값을 나타낸 것이 특징이다. 그러나, 14일 이후의 압축강도는 1 : 2 표준몰탈의 압축강도에 비해 미분말의 치환량이 증가함에 따라 작아지는 경향을 나타냈다. 그 이유는, 치환량이 증가함에 따라 미분말의 표면에서 흡수 현상이 일어나게

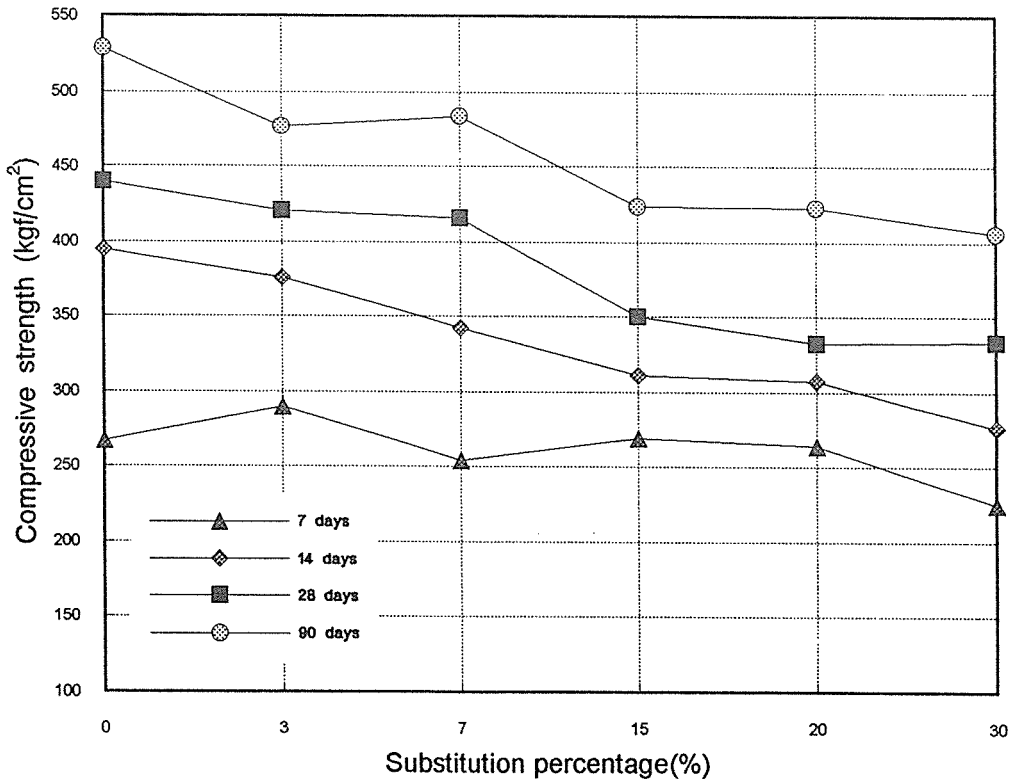


Fig.3 Compressive strength of recycled mortar

① 山崎賢司, "礦物質微分末がコンクリートのヴォーカビリティ及び強度におよぼす効果に関する基礎研究, コンクリート, ライブラリー, 1963, 8月, pp.98~120.

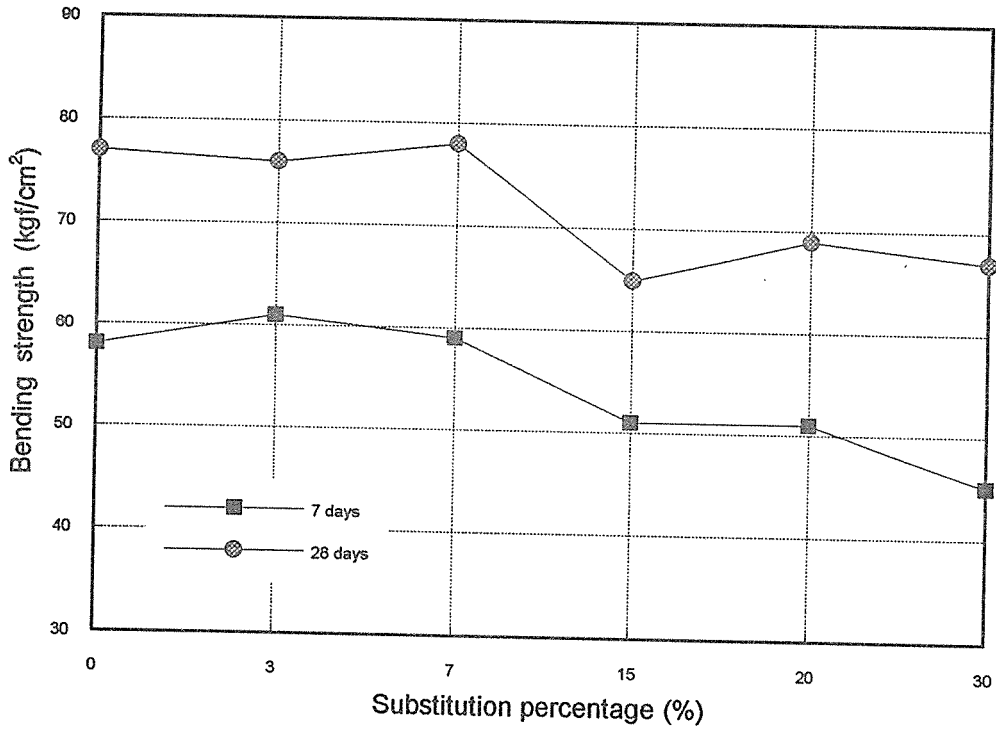


Fig.4 Bending strength of recycled mortar

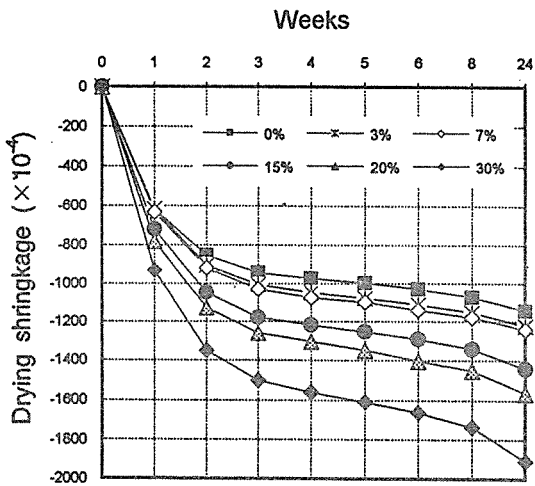


Fig.5 Drying shrinkage of recycled mortar

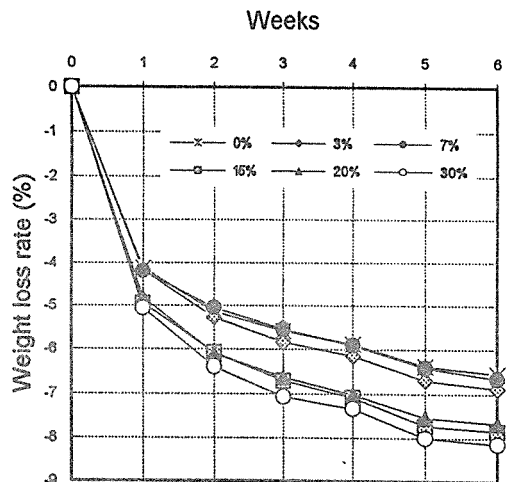


Fig.6 Weight loss rate of recycled mortar

되므로 미분말을 혼입한 몰탈의 유동성이 약간씩 나빠진 결과이며, 또한 미분말을 혼입함에 따라 공극(Pore)이 증가했기 때문으로 생각된다.

28일 압축강도의 경우 1:2 표준몰탈의 강도와 비교해서 미분말을 3%, 7% 및 15%을 혼입한 재생몰탈의 강도는, 각각 0.96, 0.95 및 0.80 배로 나타나 있으며, 20% 및 30% 혼입시에는 각각 0.75, 0.76 배로 나타났다.

### 4. 3 휨강도

Fig.4에 휨강도의 시험결과를 나타낸다. 미분말 혼입몰탈의 강도는 1:2 표준몰탈과 비교해서 7일, 28일 재령시의 휨강도의 발현성상은 양호한 편이었다. 미분말 치환율 7%까지의 휨강도는 1:2 표준몰탈의 강도와 거의 같은 정도였으며, 15%이상 혼입시에는 약간 저하하여 표준몰탈의 강도와 비교해서 15%, 20%, 30%에서 각각 0.8, 0.75 및 0.76배였다.

### 4.4 건조수축 및 질량감소률

Fig.5 건조수축의 측정결과를, Fig.6에 질량 감소률의 측정결과를 나타낸다. 건조수축량의 측정은 콘택트게이지방법으로 측정하였다.

미분말을 혼입한 몰탈의 건조수축은 1:2 표준몰탈과 비교하여, 미분말 치환량의 증가와 함께 건조수축이 비례해서 증대하는 경향을 나타냈다. 한편, 질량감소도 건조수축의 결과와 비슷한 양상을 나타냈다.

그 이유는, 비빔에 쓰여야 될 물이 재생 미분말의 표면에서 흡수되었다가 양생 도중에 서서히 증발하므로, 그 수량만 만큼 수축하거나, 중량의 감소가 일어난 것으로 생각된다. 건조수축 및 질량감소 모두 초기에 크게 일어났다.

## 5. 결 론

본 연구는 콘크리트폐재의 재처리과정에서 발

생한 재생미분말의 재활용방법의 하나로서, 몰탈을 구성하고 있는 재료중, 특히 모래의 일부로서 재생 미분말을 혼합하였을 경우, 대체가 가능한지의 여부를 밝힐 것을 목적으로 하고 있다. 그를 위하여 재생 미분말을 표준사의 일부로서, 3, 7, 15, 20 및 30%까지 치환하여, 재생 몰탈의 품질을 평가하기 위한 제시험을 실시한 결과, 본 연구의 범위 내에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 재생미분말의 잔골재 치환율 15%까지의 재생미분말 혼입 몰탈의 플로우치는 재생미분말 혼입의 증가와 함께 1:2 표준 몰탈의 플로우치보다 약간 크거나 거의 동등한 값을 나타냈다.

특히 7%까지의 경우에는 1:2 표준몰탈의 플로우치보다 약간 큰 값을 나타내는 것이 특징이었다. 치환율이 15%를 넘어서면 재생미분말 혼입량의 증가와 함께 플로우치는 저하되는 경향을 나타냈다.

2) 압축강도의 발현성상은 치환율에 관계없이 재령과 함께 증가하는 경향을 나타냈다. 특히, 재령 7일의 경우에는 치환율 20%까지 1:2 표준몰탈의 압축강도와 거의 동정도의 값을 나타내고 있는 것이 특징이었다. 3일 이후의 재령에 있어서의 압축강도를 보면 재생미분말의 혼입량이 증가할수록 강도는 약간씩 저하되는 경향을 나타냈다.

3) 재령 7일, 28일 까지의 휨강도는 치환율 7% 까지 1:2 표준몰탈의 강도와 거의 같은 값을 나타냈으며, 치환율 7%를 넘어서면 재생미분말의 혼입량이 증가할수록 약간 저하되는 경향을 나타냈다.

4) 재생미분말을 혼입한 몰탈의 건조수축은 1:2 표준몰탈과 비교하여, 재생미분말 혼입량의 증가와 함께 증대하는 경향을 나타냈다.

5) 재생미분말을 혼입한 몰탈의 질량 감소율은 1:2 표준몰탈과 비교하여 재생미분말 혼입량의 증가와 함께 질량 감소율이 증가하는 경향을 나타냈다.

6) 이상의 결과를 고려해 보면, 본 연구에서는 혼화제를 사용하지 않았지만, 혼화제를 유효하게

이용만 한다면 재생미분말을 이미 고갈상태에 있는 모래의 일부로 미분말을 치환율 30%까지 혼합하여 재생콘크리트를 제조할 수 있다고 생각된다. 또한, 쇠석골재 제조 공장에서 보통 흔히 사용하고 있는 파쇄기를 그대로 사용해서 재생골재를 제조할 수 있다는 것을 확인하였다. 단, 금후의 연구과제로서 건조수축의 저감 및 혼화제의 유효한 사용방법에 대해서는 검토할 필요가 있다.

## 참고문헌

1. Frondisto u-yannes, S., "Waste concrete as aggregate for new concrete," ACI Journal, Proceedings V. 74, No. 8, Aug. 1977, pp. 373~376.
2. Mukai, T.; Kemi, T.; Nakagana, M., Kikuchi, M., "Study of reuse of waste concrete for aggregate of concrete", Proceedings, Seminars on energy and resources conservation in concrete technology, Japan-U.S. cooperative science program, Sanfrancisco, 1979, pp. 85~98.
3. BCSJ. "Proposed standard for the use of recycled aggregate and recycled aggregate concrete." Building Contractors Society of Japan. Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste, 1977, May, (English version published in June 1981).
4. Hansen T. C., "Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second-state-of-the-art report developments 1945~1985", RILEM TECHNICAL COMMITTEE-37-DRC, Materials and Structures(RILEM), Vo. 19, No. 111, March~April, 1986, pp. 201~246.
5. Hansen T.C., "Recycling of demolished concrete and masonry-recycled aggregates and recycled aggregate concrete. Third-state-of-the-art report 1986~1989". RILEM REPORT 6, 1992 pp. 1~160.
6. 山崎實司, "鑛物質微粉末ガコンクリートのウォカビリチー及び強度におよぼす効果に関する基礎研究", 콘크리트, 라이브러리, 第8號, 1963, pp. 1~55.
7. 建設省, "總Project「建設事業への廢棄物利用技術の開發」" 1986, pp. 1~485.
8. 株式會社エヌ・ティー・エス, "建設副産物・廢棄物の處理と再利用講演録", 1994.
9. 日本建築學會大會(1993年)材料施工技術部門 Pannel discussion, "建設副産物の再利用及び處理の現状と問題点", 1993, 5月, pp. 1~42.
10. 小野義徳外4人, "Fundamental Preperities of Concretes with Recycled Powders for Waste of Concretes", 秩父小野田研究報告, Vol. 46, No. 129, 1995, pp. 90~97.
11. 杉田修一外2人, "高活性もみがら灰混入コンクリートの強度特性に関する研究, 第8回(1995年)生コン技術大會研究發表論文集, 1995, pp. 1~6.
12. 東謙一, "フライアッシュを大量混入した建築用コンクリートについて", Ibid, 1995, pp. 7~12.
13. 關口賢二, "碎石粉を使用した高減水コンクリートの性能", Ibid, 1995, pp. 41~44.