

骨材徵粉末을 多量含有한 콘크리트의 耐凍害性

김 복 원

(경기지방중소기업사무소 공업연구사)

1. 서 론

일본의 콘크리트조합은 내동해성이 우수한 콘크리트를 공급하는 것이 생콘크리트제조업체가 다 하여야 할 책무인 것으로 인식하여, 대학과 공동으로 내동해성확보를 위한 기술적 검토를 하고있다.

위 실험은 공업조합내에 실제로 제조되고 있는 생콘크리트를 대상으로 한 동해 융해 시험을 해서, 내동해성의 실태를 파악하는데 주안점을 두었다.

중요한 것은 내동해성의 결함의 원인해명이 있고, 대부분의 사례에서 내동해성이 떨어지는 이유를 관찰했지만 그안에는 예외도 있었다. 그것은 골재의 물리적 성질이 양호하고, 또한 프레슈콘크리트의 공기량도 적절히 있는 것에도 불구하고 경화 콘크리트의 내동해성이 현저히 떨어진 예도 있고 그 원인의 해명이 과제로 남았다. 그것을 위해 계속해서 그 원인을 규명하기 위한 실험을 실시하고 있다.

위내용에서는 그 일련의 연구성과를 말하고자 한다.

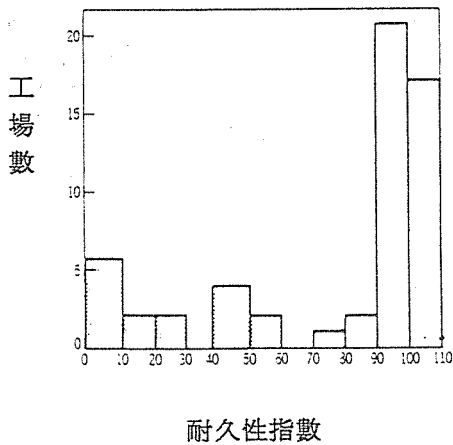
2. 생콘크리트의 耐凍害性

일본의 콘크리트조합에서는 매년, 조합소속의 생콘공장을 대상으로해서 품질관리감사를 행하고 있다. 암수현의 겨울기상은 한냉으로, 콘크리트구조물에 냉해가 발생하는 예는 적지않으나,

생콘공장이 내동해성을 가진 생콘크리트를 제조 공급하고 있는 것을 감사로서 체크하지 않았다. 당시 공업조합의 기술고문으로 있는 암수대학농학부의 다카하시교수는 이체크의 중요성을 역설하고, 그것을 받아들여 종래의 감사항목에 포함되지 않은 동해융해시험(이하생콘크리트의 동해융해시험이라표기)을 특별히 실시하도록 했다.

실험용 공시체(10×10×40cm 각주)는 감사당일, 각공장에서 제작했다. 공장수는 59이고 당초콘크리트의 종류(호칭강도, 슬럼프, 골재치수)를 통일하고 주로 골재의 품질과 콘크리트의 내동해성의 관련을 파악하려고 했지만 당일의 출하형편에 의해 의도(意圖)한 종류와 다른 콘크리트로 공시체를 제작하는 예는 적었다. 그 때문에 사용재료뿐만 아니라 배합등도 각공장마다 달랐다. 동결융해시험은 ASTM C-666에 준해 처리하고, 기중(氣中)동결 수중융해방식으로 행하였다. 각공장의 내구성지수를 빈도표로 표시한 것은 그림1에 있다. 일반적으로 내동해성을 가지고 있게 되는 내구성지수 60%이상을 확보하고 있는 공장이 전체의 7할 정도를 점하고 내구성지수 90%이상의 공장도 많기 때문에 총체적으로는 양호한 내동해성을 나타내고 있다. 따라서 약수현의 경우, 그엄한 기상조건을 충분히 고려해서 많은 공장이 내동해성에 우수한 생콘크리트를 출하하고 있다고 평가된다. 그렇지만 내구성지수 60%미만의 공장이 전체의 3할 정도를 점하고 있는 점을 간과해서는 안된다.

동결융해시험은 극히 가혹한 조건에서 행하게

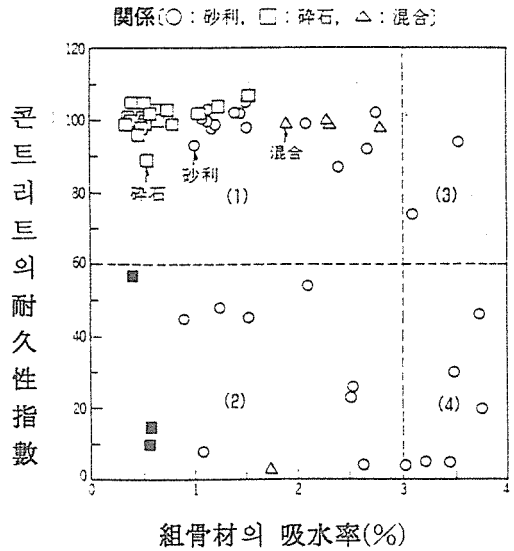


〈그림 1〉 耐久性指數 頻度圖

되고 얻어진 결과에서 실제콘크리트구조물의 내동해성을 판정 할 수 있을 것인가에 있어서는 통상 의논이 되고 있다.

본 시험에서 적은 내구성지수를 나타낸 생콘크리트에 있어서도 실제의 구조물에 사용된 경우에 동해가 꼭 발생한다고는 하지 않으나, 본시험에 있어서 내동해성이 떨어진 예의 원인을 규명하고 내동해성향상의 방지책을 나타내는 것이 긴요하다고 생각되며 결과의 해석을 행하였다.

그림2는 조골재의 흡수율과 콘크리트의 내구성지수와와의 관계를 나타내고 있다. 그림과 같이 조골재의 흡수율이 3%, 콘크리트의 내구성지수 60%를 넘어 4의 영역으로 구분하면 전공장의 8할정도가 양질골재를 사용해 내동해성을 확보하고 있는 영역(1), 또는 저품질골재를 사용해 내동해성이 떨어지는 영역(4)에 위치한다. 따라서 종래에서 지적되고 있는 것과 같이 골재, 특히 조골재의 품질이 콘크리트의 내동해성을 크게 좌우하는 것은 밝혀졌고 영역(4)에 있는 6공장의 경우, 기본적으로는 조골재가 저품질이기 때문에 내동해성이 떨어진다고 생각된다. 그림 영역(3)은 골재가 저품질이라도 내동해성을 확



〈그림 2〉 組骨材의 吸水率과 콘크리트의 耐水性指數

보하고 있는 예이고, 어느쪽도 경화후의 공기량이 적절한치로 되고 있다. 골재의 품질이 떨어진다고 생각된다. 그림영역(3)은 골재가 저품질이라도 내동해성을 확보하고 있는 예이고, 어느쪽도 경화후의 공기량이 적절한 공기량을 확보하므로 콘크리트에 충분한 내동해성을 부여하므로 의의가 깊다. 그림(2)는 골재가 양질임에도 불구하고 콘크리트의 내동해성이 떨어지고 있는 영역도 있고, 이것에 해당하는 예가 12도 존재하며 적지않다. 이 가운데 砂利單味사용 및 砂利와 碎石의 혼합사용의 9공장가운데 5공장의 콘크리트에 팽아웃트가 발생하고 있다. 砂利는 다양한 석질의 집합체이고, 전체의 평균적성질이 좋아도 그가운데에 물리적성질이 떨어지는 입자가 포함되면 팽아웃트의 발생을 불러일으킬 우려가 있다. 5공장의 예는 그것이 주요한 원인이 되었고, 낮은 내구성지수에 의한 것으로 관찰된다. 砂利단미사용 및 혼합사용의 남은 4공장에 있어서는 경화콘크리트의 기포측정에 의해 경화후공기량이 적게되고 기포간격계수가 크기 때문에 내구성지수가 적게되었다고 해석된다. 어느쪽도 프레슈콘크리트의 단계에서는 적절한

공기량으로 되어있으나 콘크리트의 내동해성에 있어서는 보다 중요한 것은 경화후 공기량이며 내동해성의 관점에서는 종래와 같이 프레슈콘크리트의 공기량으로 관리하는 것 보다도 경화후 공기량에 착안하는 쪽이 이상적이라고 말한다.

이상과 같이 실제로 제조되고 있는 생콘크리트를 대상으로 한 동결융해시험에 있어서 내동해성이 떨어진 예의 원인을 거의 해명했지만 남은 것은 그림영역(2)에 포함된 쇄석사용의 3공장(그림중의 검은사각)이고, 그 원인 규명을 위해 실험을 했다.

3. 석회암질 골재를 사용한 콘크리트의 내동해성

주목하는 공장의 경우, 어느쪽도 동일산지의 쇄석을 사용하고 있고 흡수율은 1%미만이고 극히 양호한 품질의 쇄석이있다고 말한다. 흡수율 등의 물리적성질에 문제는 없다. 프레슈콘크리트의 공기량도 적절했다. 그것에도 관계하지 않고 내동해성이 떨어진 이유로서 석질에 주목해 봤다. 모암은 석회암이었다.

3공장이 사용하고 있는 골재의 산지에서 성질이 다르다고 생각되는 2종류의 골재(a, b)를 채취해서 타 산지에서 같은 석회암질의 골재(c)도 입수했다. 더욱이 석회암질 골재와 비교하기 위

해 얼룩암질의 골재(d)도 준비했다. 쇄석 및 쇄사 조합은 표1에 나타나고 있다.

이골재를 사용해서 콘크리트의 내동해성을 구했다. 시멘트는 포틀랜드시멘트를 사용하고, 혼화제는 AE감수제 및 AE제를 사용했다. 배합에 있어서는 3공장의 콘크리트와 거의 같게 되도록 선정했다. 물시멘트가 58.5%이고 슬럼프는 $8.0 \pm 2.5\text{cm}$, 공기량은 $4.5 \pm 1.0\%$ 로 하고 있다. 표1에는 동결융해시험의 결과도 나타나고 있다. 어느 골재를 사용한 콘크리트에도 95%이상의 내구성수지를 나타내고 질량감소율은 조금도 얼화의 징후가 보이지 않는다. 따라서 그 결과로 하면 골재가 석회암질이어도 콘크리트의 내동해성에는 문제가 없게 된다. 어느 문헌을 조사해도 특수한 석회암을 제외하고는, 특히 내동해성에는 문제가 있는 예는 발견되지 않았다. 그렇기 때문에 3공장의 예에도 석회암질 골재의 사용에 의해 내동해성이 떨어진 것은 아니라고 판단했다. 이 실험은 3공장의 내동해성결함의 원인규명을 목적으로 행해져왔고 생콘크리트의 동결융해시험의 때와 같은 양상의 사용재료 및 배합 등에 실험한 예도 관계하지 않고 내동해성의 결과는 완전히 다르고, 바꾸어 말하면 생콘크리트의 동결융해시험의 결과를 재현할 수 없었던 것이 된다. 재현되지 않으면 원인규명도 불가능하고, 재현을 의도해서 다음 단계의 실험을 했다.

〈표 1〉 使用骨材 및 콘크리트의 耐凍害性

骨材의 種類		骨材의 性質					콘크리트의 耐凍害性	
		組粒率	粒形判定實績率(%)	表乾比重	吸水率(%)	洗滌損失(%)	耐久性指數(%)	質量減少率(%)
a	碎砂	2.65	55.9	2.65	1.32	4.9	97	0.6
	碎石	6.30	59.1	2.70	0.41	1.6		
b	碎砂	2.67	57.9	2.63	1.65	8.6	98	0.6
	碎石	6.50	60.2	2.70	0.42	1.2		
c	碎砂	3.29	57.8	2.66	0.99	2.8	95	0.4
	碎石	6.54	61.0	2.70	0.36	1.6		
d	碎砂	2.68	54.0	2.81	1.70	4.2	101	0.7
	碎石	6.54	56.9	2.92	0.87	0.4		

〈표 2〉 콘크리트의 配合

W/C	s/a	單位量(kg/m ³)			
		W	C	S	G
58.5	48.0	184	315	866	939

4. 골재미분말을 다량함유한 콘크리트의 내동해성

표1에 나타난 것과 같이 3공장에서 사용하고 있는 쇄사의 세척손실은 비교적 크고 골재중의 다량의 미분말을 함유하고 있다. 더구나 동일산지에 있어서도 (a)와 (b)와는 세척손실이 다르고 미분말량이 변동한다고 예상된다. 생콘크리트의 동결융해시험 때 3공장의 골재 중 미분말 등이 어느 정도 함유되어 있는 것은 불명(不明)하지만 가끔 미분말이 다량으로 함유된 가능성을 부정할 수 없다. 즉 상술한 골재의 석질에 착안한 실험에 있어서 생콘크리트의 동결융해시험의 결과를 재현하지 않은 것은 골재미분말의 양이 다르기 때문이라고 생각된다. 골재 미분말이 콘크리트의 내동해성에 미치는 영향에 있어서는 기존의 문헌에 있어서도 불투명하고, 그 영향에 착안하게 되었다. 실험을 위해 다시 3공장이 사용하고 있는 골재의 산지에서 쇄석 쇄사를 채취했다. 쇄사의 세척손실은 9.5%이고 미분말의 양이 많고 더욱이 그 변동도 큰 것이 그 수치에서 알게 된다.

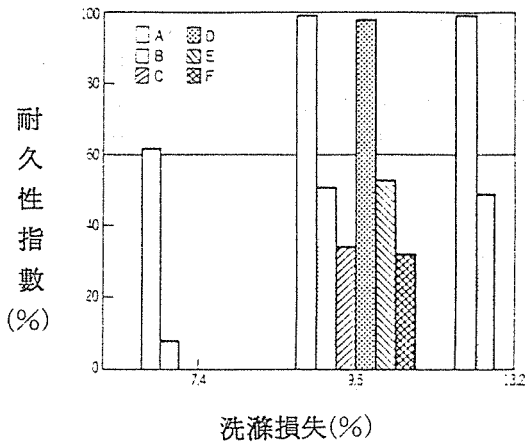
미분말량을 파악하기 위해 150 μ m이하의 미분함량을 어느정도 제거한 쇄석과, 역으로 미분말을 혼합해 미분말량을 많게한 쇄석을 준비했다. 조정에 의해 세척손실을 9.5%, 7.4%와 13.2%의 3단계로 결정되었다.

3공장의 경우 혼화제(AE감수제 및 AE제)는 B사제를 사용하였다. 이것에 대해 상술의 골재 석질에 착안한 실험에서 공기량을 소정의 수치로 하면 메이카에 의한 차이는 없다고 생각되어서 A사의 혼화제를 사용했다. 혼화제에 있어서 JIS6204(콘크리트용화학혼화제)에 따라 콘크리

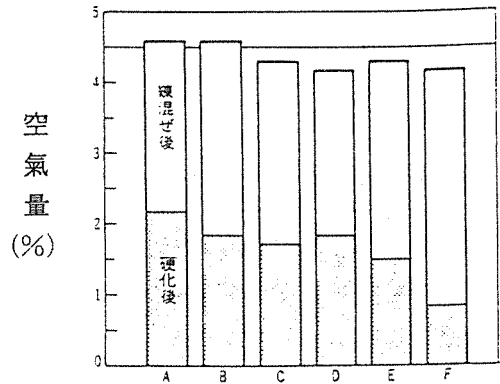
트의 동결융해 시험을 하여 그 성질을 확인해본 결과 규정되어 있고 시판되고 있는 혼화제 모두가 콘크리트의 내동해성에 기여하는 것으로 나타났다. 그리고 그 확인에 있어서 사용하는 세골재에 대해서는 세척손실이 2.0%이하로 규정되어 있고, 미분말이 다량으로 함유되었다. 이 조건하에서 혼화제의 사용은 불명(不明)하고, 메이카에 의한 차를 단순히 부정할 수 없는 면이 있다. 이 때문에 생콘크리트의 동결융해시험의 재현을 의도해서 혼화제는 B사제를 사용하고 있었다. 미분말이 다량으로 함유하고 있는 조건하에서 혼화제의 움직임을 상세히 조사하기 위해 A사제 또는 C~F를 가해 메이카가 다른 합계 6종류의 혼화제(AE감수제표준형 I종 및 AE제)를 대상으로 했다 콘크리트의 배합은 세골재의 세척손실 및 혼화제의 종류에 관계하지 않고 표2와 같이 통일했다. 혼화제의 종류의 영향을 엄밀히 검토하기 위해 거의 동일한 공기량으로 비교할 필요가 있다. 거기에서 프레슈 콘크리트의 목표공기량을 4.5%로 하고, 허용차를 $\pm 0.3\%$ 로 통상보다 엄하게 설정되어있고, 비교의 엄밀성을 그렸다.

그림3은 동결융해시험의 결과를 나타내고 있다. 모두 혼화제를 대상으로 한 세골재의 세척손실 9.5%의 경우를 보면 콘크리트의 내구성지수는 혼화제의 종류에 의해 크게 다른 것을 알았다. 즉 혼화제A 및 D를 사용한 경우에는 100%에 가까운 내구성지수를 나타내고 있는 것에 대해, 다른 혼화제를 사용한 콘크리트의 내구성지수는 60%미만으로 내동해성이 떨어지는 결과가 되고 있다.

생콘크리트의 동결융해 시험에서는 3공장의 경우 혼화제 B를 사용한 콘크리트를 대상으로 해서 내동해성이 떨어지는 결과를 얻었다. 한편 골재의 석질에 착안한 앞 실험에서 혼화제A와 B의 차이를 여실히 나타내고 있고 특히 혼화제 B를 사용한 콘크리트의 내동해성이 떨어진 결과에 의해 생콘크리트의 동결융해시험에서 보여준 3공장의 내동해성을 재현할 수 있었다. 프레



〈그림 3〉凍結融解試驗結果



〈그림 4〉攪練後 및 硬化後의 空氣量

슈 콘크리트의 공기량을 동일하게 하였음에도 불구하고 혼화제 종류에 따라 콘크리트의 내동해성에 차가 발생한 원인으로 경화후의 기포구조 차이가 일어났다. 그림4는 세골재의 세척손실이 9.5%의 경우에 있어서 프레슈 콘크리트 및 경화콘크리트의 공기량을 나타내고 있다.

프레슈콘크리트의 공기량에 있어서 목표치에서 허용차를 엄하게 제한했기 때문에 거의 같게 되어 있음에도 불구하고 경화후 공기량에는 사용한 혼화제에서는 비교적 큰차가 발견되었다.

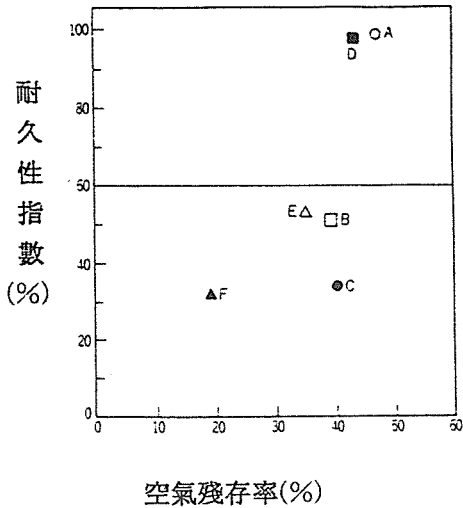
지금 프레슈 콘크리트의 공기량에 공기량에 대한 경화후의 비율을 공기잔존율(%)로서 이것과 내구성 지수와의 관계를 구하면 그림5와 같이 되고 공기 잔존율이 작을수록 내구성 지수가 작은 경향은 밝혀졌다고 말한다.

더욱이 기포간격 계수와 내구성 지수와의 관계를 나타낸 그림 6에 의하면 기포관계 계수가 클수록 내동해성이 떨어지는 경향이 확실히 나타나고 있다.

이 결과에 의하면 혼화제 B의 경우 공기잔존율이 비교적 적고 기포관계계수는 크기 때문에

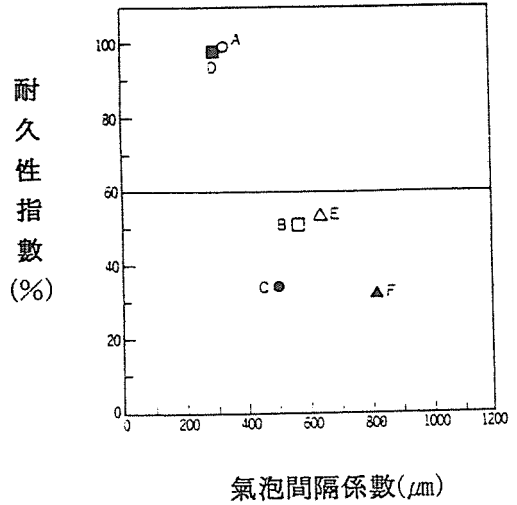
내동해성이 떨어진다고 말한다. 아마 생콘크리트의 동결융해 시험에 있어서 3공장의 내동해성이 떨어진 이유에 있어서 이와 같은 인과(因果)관계에 있었다고 관찰된다.

이와 같이 생콘크리트의 동결융해 시험에 있어서 내동해성결합의 원인이 불명(不明)한 3공장에 있어서도 그 원인을 밝히게 되었다. 단 더욱 해명을 요하는 과제는 남아있다. 본 실험에서는 6종류의 혼화제를 사용했다. 그 결과 프레슈 콘크리트의 공기량을 거의 동일하게해도 경화후의 기포구조, 더욱이 내동해성에는 혼화제의 종류에 의한 차가 있는 경향을 보이고 있다. 여기에 골재미분말이 관여하고 있는가 없는가는 정해져 있지 않다. 혹시 통상의 미분말량으로 같은 경향이 있으면 중대한 문제가 있고 확인의 필요가 있다. 현단계에서는 이 경향은 골재미분말이 다량으로 존재하는 조건하에만 일어나고 있다고 인식하지 않을 수 없지만 혹시 그렇다면 미분말의 존재가 혼련시켜 경화에 도달할 때까지 사이에 공기량을 변화시켜, 더구나 그 변화 정도가 사용하고 있는 혼화제에 의해 다르게 된



〈그림 5〉 空氣殘存率과 耐久性指數의 關係

다. 이 기구의 해명도 중요한 연구과제로 있다는 것은 의심의 여지가 없다. 그림3과 같이 혼화제 A 및 B에 있어서는 세척손실이 7.4% 및 13.2%의 경우도 검토했다. 혼화제 B의 경우도 어느쪽의 세척손실에도, 내구성지수가 적고 미분말이 내동해성을 해치면 그 영향을 받기 쉽다고 말한다. 단 상대적으로 미분말이 적지 않을 경우(세척손실 7.4%)의 내구성지수가 아주 적고 미분말량이 클수록 내동해성을 해친다고 단언할 수 만은 없는 면이 있다. 혼화제 A에 있어서도 세척손실이 7.4%로 더욱 적은 내구성지수를 나타내고 있고 미분말의 다양한 존재가 오히려 내동해성을 높게 한다는 견해도 있다. 세척손실이 7.4%의 경우 프레슈 콘크리트의 소정공기량을 확보하고 있음에도 불구하고 혼화제 A에서는 AE감수제만 AE제가 불필요하고, B에서는 AE제의 사용이 겨우 끝이났다. 세척손실이 이것보다 다량의 경우에 AE제를 비교적 많이 사용하므로 목표공기량을 확보하고 있다. 세척손실이 7.4%의 경우에, 내구성지수가 상대적으로 적었던 이유로서 AE제의 움직임이



〈그림 6〉 氣泡間隔係數와 耐久性指數의 關係

결핍하고 있었다고 생각된다. 즉 내동해성이 다하여야 할 역할이 AE감수제와 AE제와는 다를 가능성이 있고 이점의 진위도 확인할 필요가 있다. 이상과 같이 내동해성에 미치는 골재미분말의 영향을 조사한 본 실험에서는 그 영향의 좋은점과 나쁜점외에 혼화제의 움직임에 있어서도 불명한 점이 남아있고, 금후 해명을 연구할 필요가 있다.

5. 결 론

실제 제조되고 있는 생 콘크리트를 대상으로 해서 동결융해시험을 체계적으로 실시하고 있는 예는 적고, 본 연구에서 얻어진 연구성과는 귀중하다고 생각된다. 목적은 생콘크리트의 내동해성의 향상이 있고 얻어진 성과를 각 공장에 환원해서 발표자로 있는 다카하시교수의 비장한 소원에 응하는 노력을 하고 있다. 또 본 연구는 일본 암수현 생콘크리트공업조합의 기술위원회에 설치되어 있는 내동해성검토를 위한 워킹그룹에서 수행한 결과이다.