

最近의 콘크리트問題點 考察

콘크리트收縮과 膨脹에 따른 균열 및
剝離劣化 現象에 對處하여

大 島 久 次

〈千葉工業大學工學部建築學科教授, 工博〉

李 基 東 譯

〈産業研究院, 研究員〉

序

콘크리트의 乾燥收縮에 따른 균열의 發生은 여전히 해결되지 않고 있다. 더욱이 최근에는 良質의 骨材資源이 고갈되기때문에 콘크리트用 骨材로서 碎石의 利用이 많아지고 있으며 이에 따라 關西地方을 중심으로 알카리骨材反應에 의한 膨脹균열이나 콘크리트의 剝離劣化現象이 문제가 되어 왔다. 이 알카리骨材反應現象은 이미 東北 및 山陰地方에서도 發生했다고 발표된 바는 있었으나, 全國적으로 보면 지금까지 그다지 심각한 문제는 되지 않았던만큼 日本에서는 별로 究明되어 있지가 않아서, 今後 그 대응책이 絶실하게 요구되고 있다.

本稿에서는 이러한 現象에 대한 私見을 펼침으로써 讀者 여러분들의 參考가 되었으면 한다.

1. 콘크리트의 乾燥收縮에 따른 균열에 對處하여

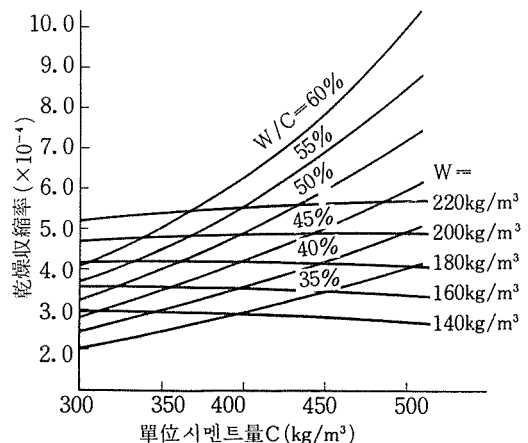
(1) 콘크리트의 乾燥收縮限界와 콘크리트의 配合에 관해서

콘크리트는 그 性質上 숙명적으로 水硬性材料인 까닭에 乾燥收縮은 당연히 일어난다는 사실을 각오하지 않으면 안되지만, 乾燥收縮은 콘크리트가 처해 있는 環境條件, 즉 溫度 및 濕度,

바람의 強度, 風向, 또한 配合 및 材令, 資材斷面의 形狀 및 寸法 나아가서는 剛性和 資材의 拘束條件과 크리프(clip) 등에 따라서 차이가 있다.

一례로 日本의 全國平均濕度を 75%, 乾燥收縮에 필요한 氣温을 20℃라고 가정하여(北海道로부터 沖繩까지의 28개 都市의 平均相對濕度は 74.89%, 또 最高와 最低의 氣温差의 平均치는 23.7℃이며 各都市 年平均氣温의 全國平均値가 14℃인 것을 고려하여 氣温을 20℃라고 가정한 것임) 筆者의 研究結果와 여기에 다른 2~3개의 研究資料를 참고함으로써 材令 28日

그림 1. 물시멘트比, 單位시멘트量, 單位水量과 乾燥收縮率과의 關係(相對濕度 75%, 氣温 20℃, 材令 28日로 假定한 경우)



을 기준으로 한 乾燥收縮率과 單位시멘트量 및 單位水量의 관계를(그림 1)의 패턴으로 나타내기로 한다. 또한 筆者의 研究에서는 均열限界에 있어서의 乾燥收縮率은 材齡 28日을 기준으로 할 때 $4 \times 10^{-4} \sim 4.25 \times 10^{-4}$ 정도가 된다.

表 1. 乾燥收縮率 4.00×10^{-4} 과 4.25×10^{-4} 에 對한 물시멘트比, 單位시멘트量 및 單位水量의 均열限界

| W/C (%) | 乾燥收縮率 (4.00×10^{-4} , kg/m ³) | | 乾燥收縮率 (4.25×10^{-4} , kg/m ³) | |
|---------|---|-------|---|-------|
| | C의 限界 | W의 限界 | C의 限界 | W의 限界 |
| | 45 | ≦ 387 | ≦ 175 | ≦ 400 |
| 50 | ≦ 350 | ≦ 175 | ≦ 365 | ≦ 183 |
| 55 | ≦ 325 | ≦ 175 | ≦ 343 | ≦ 184 |
| 60 | ≦ 300 | ≦ 176 | ≦ 313 | ≦ 185 |

(그림 1)로부터 均열限界에 대한 乾燥收縮率과 물·시멘트比, 單位시멘트量 및 單位水量의 관계를 나타내면 (表 1)과 같다.

다음으로 슬럼프 8cm 및 슬럼프 12cm의 配合에 따른 물·시멘트比와 單位시멘트量 및 單位水量을 舊JASS5(日本建築學會 標準仕様書 1979年版)의 標準調査表에 의해 구하면 (表 2)와 같다. (表 2)와 (表 1)을 비교해 보면 上記 슬럼프 10±2cm의 조합에서는 거의 均열이

생기지 않음을 추정할 수 있다.

또한 河川砂利콘크리트를 碎石콘크리트에 조합·補完할 경우 물·시멘트比, 單位시멘트量 및 單位水量은 補完하지 않는다고 한다면, 이 조합의 單位시멘트量 및 單位水量은 碎石콘크리트에도 適用된다.

그런데 舊JASS5 標準調査表의 슬럼프 18cm 및 21cm의 묶은 반죽 콘크리트에 있어서의 물·시멘트比, 單位시멘트量 및 單位水量의 관계를 나타내면 (表 3)과 같으며, (表 3)과 (表 1)을 비교해 보면 슬럼프 20cm 전후의 묶은 반죽 콘크리트에서는 均열이 생기기 쉽고 따라서 均열發生確率이 매우 높음을 추정할 수 있다.

筆者는 종전부터 「建築用으로 항상 쓰여지고 있는 콘크리트는 묶은 반죽 콘크리트에서는 均열이 생기기 쉽기 때문에 歐美와 같이 日本에서 土木工事に 常用되고 있는 것과 같은 된 반죽에 가까운 또는 中間 반죽 콘크리트의 진동조임에 의한 打設을 원칙으로 해야 할 것」을강조하여 왔던 것도 위와 같은 이유가 있었기 때문이다.

(2) 均열防止對策으로서의 流動化劑 使用의 장려

單位水量을 줄인 슬럼프가 적은 된 반죽 콘크

表 2. 슬럼프 8cm와 12cm의 물시멘트比, 單位시멘트量 및 單位水量의 關係 (細骨材의 最大寸法 2.5mm)

| W/C (%) | 粗骨材의 最大寸法 (mm) | 슬럼프 8cm | | | | 슬럼프 12cm | | | |
|---------|----------------|------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|---------|
| | | C (kg/m ³) | C의 適·不適 | W (kg/m ³) | W의 適·不適 | C (kg/m ³) | C의 適·不適 | W (kg/m ³) | W의 適·不適 |
| 45 | 20 | 380 | ○ | 171 | ○ | 407 | △ | 183 | ○ |
| | 25 | 373 | ○ | 168 | ○ | 398 | △ | 179 | ○ |
| 50 | 20 | 340 | ○ | 170 | ○ | 356 | △ | 178 | ○ |
| | 25 | 334 | ○ | 167 | ○ | 352 | △ | 176 | ○ |
| 55 | 20 | 307 | ○ | 169 | ○ | 322 | ○ | 177 | ○ |
| | 25 | 302 | ○ | 166 | ○ | 316 | ○ | 174 | ○ |
| 60 | 20 | 280 | ○ | 168 | ○ | 293 | ○ | 176 | ○ |
| | 25 | 275 | ○ | 165 | ○ | 288 | ○ | 173 | ○ |

註: 1) 旧 JASS5의 標準組合表로부터

2) 調査의 C 및 W의 適을 ○, 不適을 ×, 多少適을 △로 한다.

表 3. 슬럼프 18cm와 21cm의 물시멘트比, 單位시멘트量 및 單位水量的 關係
(細骨材의 最大寸法 2.5mm)

| W / C (%) | 粗骨材의 最大寸法 (mm) | 슬럼프 18cm | | | | 슬럼프 21cm | | | |
|-----------|----------------|------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|---------|
| | | C (kg/m ³) | C의 適·不適 | W (kg/m ³) | W의 適·不適 | C (kg/m ³) | C의 適·不適 | W (kg/m ³) | W의 適·不適 |
| 45 | 20 | 451 | × | 203 | × | 487 | × | 219 | × |
| | 25 | 442 | × | 199 | × | 478 | × | 215 | × |
| 50 | 20 | 394 | × | 197 | × | 426 | × | 213 | × |
| | 25 | 388 | × | 194 | × | 418 | × | 209 | × |
| 55 | 20 | 355 | × | 195 | × | 382 | × | 210 | × |
| | 25 | 347 | × | 191 | × | 375 | × | 206 | × |
| 60 | 20 | 322 | × | 193 | × | 348 | × | 209 | × |
| | 25 | 315 | × | 189 | × | 340 | × | 204 | × |

註: 1) 旧 JASS 5의 標準調合表로부터
2) 調合의 C 및 W의 適을 O, 不適을 X로 한다.

리트는 建築關係에 있어서는 鐵骨鐵筋콘크리트가 보급됨에 따라서 콘크리트 充填性的 곤란 및 레미콘의 보급 그리고 碎石의 使用增加와 더불어 더욱 사용되지 않고 있다. 교량 등의 土木構造物에서조차도 묽은 반죽에의 경향으로 移行되고 있는 조짐이 보인다.

그런데 10年 정도 이전부터 實用化되기 시작한 流動化劑는 그동안 꾸준히 改良이 거듭되어서 최근에는 그 사용이 점차 증가하는 경향에 있음은 주지의 사실이다. 이는 콘크리트技術에 있어서도 바람직한 傾向으로서, 기초 콘크리트의 슬럼프가 10cm정도의 것이 流動化劑의 사용으로 20cm 정도까지 묽은 반죽化가 가능하게 되었으며 配合과 다지기施工만 적절하게 行한다면 強度도 그다지 저하됨이 없이 施工性도 개선되어 單位水量的의 감소에 의한 均열發生의 確率은 격감될 수 있다는 사실을 알 수 있다.

경제성으로 볼 때 流動化劑를 쓰지 않는 콘크리트의 슬럼프가 10cm정도의 것과 20cm 정도의 것과는 後者의 것이 單價는 비싸게 되지만 10cm정도의 콘크리트에 流動化劑를 사용하여 20cm정도로 묽게 반죽하여도 현장의 假設費用을 고려하더라도 콘크리트 1m³ 당 단가는 같거나 조금 높은 정도에 불과하며 그 유효성이 이해되리라 생각된다.

이와같이 베이스콘크리트의 배합을 될 수 있는데로 단위수량이 적은 된 반죽으로 하여 流動化劑를 사용하여 묽게 반죽化를 피하게 하는 것이 均열방지에 유효한 수단이 된다는 것을 강조하고 流動化콘크리트의 보급을 도모할 것을 장려한다.

2. 低品質骨材의 사용에서 起因하는 콘크리트의 팽창에 따르는 均열, 剝離劣化의 현상에 대처해서

앞에서 記述한 바와 같이 최근 일본에 있어서 저품질골재를 쓴 콘크리트 가운데 팽창에 따르는 均열이나 剝離劣化等を 일으키게 하는 것이 나타나 그 대책이 떠들썩하다. 一例로서 輝石安山系의 碎石 일부에 알카리 골재반응을 일으키는 것이나 蛇紋岩系의 碎石 일부에 骨材粒子크기의 斑點狀 剝離劣化현상을 일으키는 것을 들 수 있다. 물론 이것 이외의 골재에서도 上記 현상이 일어나지 않는다고 단정할 수는 없지만 지금의 경우 上記 兩碎石이 문제가 되기 때문에 이것을 대상으로 하여 記述하기로 한다.

알카리 골재반응에 대해서는 지금으로부터 44년 전에 美國의 T. E. Stanton에 의하여 발견되어 당초 美國의 開拓局(U. S. State Department of the Interior Bureau of Reclama-

tion)의 도로공사등에서 문제가 되어 특히 미국 북부를 중심으로 하여 발생, 세계각지에서도 약간 문제화되었다. 그후, ACI의 Recommendation 및 ASTM (America Society for Testing and Materials)에 있어서 이와같은 種類의 骨材 사용이 규제되기 시작하였다.

일본에서 지금까지는 이와같은 현상은 거의 문제가 되지 않았지만 최근에는 河川産骨材의 부족으로 차츰 碎石骨材의 사용이 증가하였고 그와함께 關西지방의 토목구조물을 중심으로 이와같은 현상이 나타나게 되었다. 건축물에서는 이와같은 종류의 현상은 드물지만 安心은 禁物인 것이다.

(1) 알카리骨材반응

알카리 골재반응은 알카리·시리카반응, 알카리·炭酸塩岩反應 및 알카리·시리케이트반응 등으로 구분되나 여기서는 알카리·시리카반응을 중심으로 하여 건설기술의 입장에서 記述하고자 한다.

알카리·시리카반응이라함은 어떤 종류의 低品質骨材中에 포함되는 珪酸과 시멘트중의 Na_2O (酸化나트륨), K_2O (酸化칼륨) 등의 알카리성분이 반응하여, 또한 吸水에 의하여 골재성분보다 큰 용적을 가짐에 따라 골재의 주위에 압력을 일으켜 콘크리트를 팽창시키는 현상이다. 그 팽창률은 건조수축률의 반대부호의 2~3배, 물전에 따라서는 더욱 數倍에 달하여 콘크리트를 균열이나 劣化崩壞로까지 몰고 간다고 한다.

ASTM에서는 알카리·시리카반응을 일으키지 않게 하기 위하여는 포틀랜드시멘트 중의 알카리를 R_2O 로 하여 $\text{R}_2\text{O} = (\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}) \leq 0.6\%$ 의 규정이 있다.

한편 콘크리트 1m^3 中에 포함되는 R_2O 에 관하여는 영국 C & CA로 부터 발간되는 Guidance Notes "Minimizing the Risk of Alkali-Silica Reaction"에 그 獎勵値라고 하여 $\text{R}_2\text{O} \leq 3 \text{kg/m}^3$ 으로 되어 있다.

일본의 JIS 규격에는 알카리성분의 규정은 없으나 시멘트협회의 자료(표 4)에 의하면 보통 포틀랜드시멘트 중의 R_2O 量은 미국의 低알카리 시멘트의 規定値(0.6%)보다 큰 것 같다. 그러나 時日이 지날수록 감소경향에 놓여 있는 것 같으며 작년(1984년) 10월에 평균 0.73%, 최대 1.05%로 되어 있다. 이들 수치를 콘크리트 1m^3 中의 사용한 시멘트量으로 비교하여 보면 표 5와 같이 된다.

이 表에서 일본의 보통 포틀랜드시멘트 가운데 R_2O 量의 평균치가 0.73%에서는 單位시멘트量이 $350 \sim 400 \text{kg/m}^3$ 以下인 경우 $\text{R}_2\text{O} \leq 3 \text{kg/m}^3$ 이 된다. 따라서 日本의 철근콘크리트 구조물에 있어서는 사용하는 콘크리트의 單位시멘트量이 $350 \sim 400 \text{kg/m}^3$ 이하의 것이 壓倒的으로 많다는 것과, 또 R_2O 量을 最大值인 1.05%는 全體的으로 볼 때 적다고 한다면 反應性骨材의 사용이 적어졌다는 것도 감안하여 시멘트중의 R_2O 量이 ASTM의 규정치보다 많다고 해도 현실적으로 알카리 골재반응 문제가 거의 일어나지 않았다고 보아도 좋다. 그러나 單位시멘트量이 400kg/m^3 이상 쓰이는 것과 같은 高強度 콘크리트는 특히 500kg/m^3 이상 필요로 하는 프레스트레스트콘크리트 등에서는 저품질골재에 대처해서 충분히 주의를 하여 과거의 실적을 잘 조사하여 그래도 반응할 두려움이 농후할 때는 시험설비를 갖춘 권위있는 연구소나 시험소에 골재시험을 의뢰하여 판정을 기다리지 않으면 안된다. 또한 가능하다면 반응하는 두려움이 있는 골재의 사용은 피하는 것이 좋다. 그것은 그와같은 저품질골재는 전국규모에서 볼 경우 비교적 적은 것으로 推量되기 때문이다.

또한 上述한 바와 같이 일본의 보통 포틀랜드시멘트 중의 R_2O 量이 해마다 미량이나마 감소하고 있는 경향이라고 한다면 장래에 걸쳐 더욱 감소할 것을 기대하고 싶으나 지금 급격히 0.6% 이하로 억제한다는 것은 시멘트 製造에 있어서 粘土等原料選別採取등 많은 문제를 안고

있는 것 같다.

(2) 剝離劣化現象을 일으키는 低品質骨材

이 현상은 pop-out 현상이라고 말하고 있으나 급격히 콘크리트 표면이 剝離하는 것이 아니고 수개월 후, 일반적으로는 1~2년 후에 나타나는 것으로 보아 어쩌면 Strip off 현상이라고 말하는 것이 좋을지 모르겠다.

필자가 상담을 받은 것은 蛇紋岩系碎石의 사용에 의하여 발생한 현상으로서 콘크리트 表面에 粗骨材 粒子크기의 黃褐色의 斑點狀을 나타내고 그 내부가 木片狀의 황색으로 부터 灰綠色으로 변하여 콘크리트의 表面에서 팽창에 의하여 剝離하여 차츰 劣化崩壞하여 가는 현상이다. 이 현상은 콘크리트의 中性化에 의하여 助長되는 것 같으며 콘크리트의 表面이 타이루 몰탈 또는 합성수지塗料 등으로 被覆되어 있는 경우 즉 콘크리트가 이들의 被覆에 의하여 大氣와 遮斷되었을 경우에는 별로 피해는 입지 않는 것으로 보인다. 따라서 전혀 被覆이 되지 않은 콘크리트가 많은 토목구조물에서는 문제가 되나 일반적으로 被覆이 있는 건축물에서는 그렇게 문제가 발생하지 않는 것 같다.

또 蛇紋岩系 골재라고 하여 전부 이와같은 현상이 발생한다고는 볼 수 없고 輝石安山岩과 같이 그 두려움이 있는 골재는 극히 稀少하지만 지금까지의 실적을 잘 조사하여 반응하기를 꺼려하는 골재는 사용하지 않는 것이 좋다.

表 4. 日本의 普通 포틀랜드시멘트의 알칼리량
($R_2O = Na_2O + 0.658K_2O$)

| 年度 | 1972 | 1977 | 1981 | 1983 |
|----|------|------|------|------|
| 平均 | 0.83 | 0.79 | 0.75 | 0.73 |
| 最大 | 1.10 | 1.10 | 1.06 | 1.05 |

註: 시멘트協會(1983, 10, 25)

(3) 저품질골재의 시험방법에 관하여

이상 記述한 輝石安山岩系碎石이나 蛇紋岩系碎石 가운데 일부 저품질골재는 별도로 하고 상

表 5. 콘크리트 1m³中的 R₂O의 量(kg)

| R ₂ O (%) | 콘크리트 1m ³ 中的 시멘트量(kg/m ³) | | | | | |
|----------------------|--|------|------|------|------|------|
| | 300 | 350 | 375 | 400 | 450 | 500 |
| 0.6 | 1.80 | 2.10 | 2.25 | 2.40 | 2.70 | 3.00 |
| 83年度의 平均值 0.73 | 2.19 | 2.56 | 2.74 | 2.92 | 3.28 | 3.65 |
| 72年度의 平均值 0.83 | 2.49 | 2.91 | 3.11 | 3.32 | 3.74 | 4.15 |

註: C & CA의 推將値는 R₂O ≤ 3kg

記 碎石의 전부가 저품질이라고 할 수는 없다. 거기서 불량골재 비슷하다고 생각될 경우는 지금까지의 사용실적을 잘 조사하지 않고서는 일괄 사용할 수 없다고 판정할 수는 없는 것이다. 골재를 시험 판정한다 하더라도 시험기간이 장기간에 걸쳐 1~2개월의 시험으로는 판정하기 어려운 경우도 있다.

판정의 시험에는 ASTM 등 각종 방법이 있다. 일본에서도 각 방면의 실태조사에 의한 연구를 가지고 ASTM에 準한 시험방법이 가까운 장래에 판정되리라 믿으나 아무쪼록 JIS A 5005(콘크리트용 碎石) 가운데 콘크리트에 현저하게 악영향을 미치는 불량골재의 사용을 피하는 형태로 새롭게 改善함이 어떨까 생각된다.

알칼리골재반응, pop-out 현상에 관하여 요약하면 다음과 같다.

① 콘크리트 팽창에 따른 균열, 剝離劣化현상을 발생시키는 저품질골재는 지금의 경우는 적지만 混入의 두려움이 있을 경우에는 實積을 잘 살펴보아서 가능하면 그 사용을 회피함이 좋다.

② 콘크리트 1m³ 가운데 시멘트 사용량이 지금까지의 철근콘크리트 정도이면 거의 문제가 없으나 그 이상 사용하는 高強度콘크리트, 특히 프레스트레스트콘크리트에서는 특별히 주의하여 불량골재의 사용을 嚴禁하는 것이 바람직하다.

③ 일본에서는 低알칼리시멘트의 규정을 설정한다는 것은 지금의 경우는 곤란하며 上記②를 勘案한다면 거의 문제가 발생하지 않으리라 생각되므로 가까운 장래에 있을 시멘트生産 측면에서 기대하는데 그치고 싶다. *