

初期養生方法 및 拘束程度가 콘크리트의 收縮균열에 미치는 影響

笠井芳夫

〈日本大建築工學科教授·工學博士〉

曹 富 鉉 訳

〈東洋시멘트(株)安養레미콘工場 品質管理室長〉

1. 序

構造物에 打設된 콘크리트는 長期間에 걸쳐 充分한 養生이 되도록 하여야 하지만 特別 初期 材令에서 濕潤養生이 중요하다.

이 期間中 濕潤養生이 不充分하면 強度 및 耐久性이 低下 될뿐만 아니라 乾燥에 依한 收縮을 誘發하기 쉽다.

한편 콘크리트의 收縮을 줄이는 한 方法으로서 콘크리트를 早期에 건조 收縮시켜서 早期 材令에서 콘크리트의 낮은 彈性계수와 應力 緩和에 의해 收縮을 피하게 하려는 見解가 있다. 이것은 먼저 말한 콘크리트의 強度發現, 耐久性 향상 等 基本的 性質과 깊게 관련되기 때문에 慎重한 검토를 必要로 한다.

筆者는 이것까지 初期養生이 콘크리트의 長期 收縮에 미치는 影響에 대해서 研究를 하여왔다.

本稿는 内部拘束供試체를 사용하고, 初期養生 方法(材令 1 일부터 7 일까지의 수중습윤 養生

을 변화한것) 및 拘束程度를 변화한 콘크리트의 收縮 또는 收縮발생에 관한 實驗研究결과를 中心으로 論述하지만, 이것과 관련하여 初期 1 日養生이 以後의 拘束收縮에 미치는 影響에 대해서도 言及한다.

더불어 기존의 이런것들에 대한 研究 結果에 대해서도 검토했다.

2. 實驗方法

(1) 使用材料

시멘트: 보통 포틀랜드시멘트 使用 物理試驗結果는 表 1 에 나타냈다.

骨 材: 모래는 河川砂, 粗粒率 2.62(5~2.5mm 및 2.5mm 通過分의 2種에 珪가름 再 混合한것)를 사용, 자갈은 河川産, 最大치수 15mm(15~10mm 및 10~5mm에 珪가름 재혼합한 것)을 사용했다. 使用한 骨材의 물리적 性質 및 粒度 分布는 表 2 에 나타냈다.

表 1. 시멘트의 物理試驗結果

| 比重 | 比表面積 (cm ² /g) | 凝 結 | | | 安 定 性 | FLOW值 | 壓縮強度 (kgf/cm ²) | | |
|------|---------------------------|--------|----------|----------|-------|-------|-----------------------------|-----|-----|
| | | 水量 (%) | 始發 (h-m) | 終結 (h-m) | | | 3日 | 7日 | 28日 |
| 3.16 | 3,360 | 29.0 | 2-39 | 3-51 | 良 | 227 | 132 | 207 | 408 |

表 2. 骨材의 物理的性質 및 粒度分布

| 種類 | 絶乾比重 | 吸水率 (%) | 單重 (kg/l) | 씻기 시험에 의 해 손 실 되는 량 (%) | 實積率 (%) | 通過重量百分率 (%) | | | | | | | |
|-----|------|---------|-----------|-------------------------|---------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|
| | | | | | | 0.15 | 0.3 | 0.6 | 1.2 | 2.5 | 5 | 10 | 15 |
| 細骨材 | 2.60 | 1.10 | 1.76 | 1.10 | 63.5 | 5 | 11 | 48 | 81 | 90 | 100 | - | - |
| 粗骨材 | 2.63 | 0.51 | 1.68 | - | 68.1 | - | - | - | - | - | 0 | 40 | 100 |

(2) 콘크리트 配合

물 시멘트比 60%, Slump 18cm로 했다. 實施 콘크리트의 배합은 表 3에 나타냈다.

表 3. 實施 콘크리트 배합

| 물시멘트비 (%) | 슬럼프 (cm) | 細骨材率 (%) | 單位水量 (kg/m ³) | 重量 (kg/m ³) | | |
|-----------|----------|----------|---------------------------|-------------------------|-----|-------|
| | | | | 시멘트 | 모래 | 자갈 |
| 60 | 18 | 43.0 | 197 | 328 | 778 | 1,042 |

(3) 供試體의 形狀 · 치수

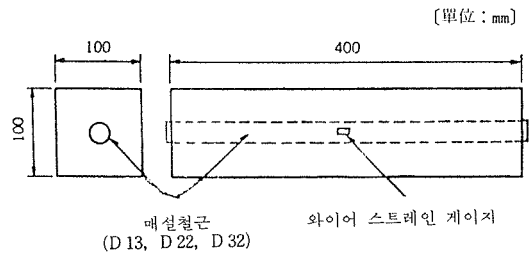
拘束供試體는 圖 1에 나타난대로 100×100×400mm 角柱 공시체로 하고 斷面中央에 拘束鐵筋 1개를 배치했다.

拘束鐵筋은 D₁₃ D₂₂ D₃₂를 사용했다.

拘束鐵筋 D₂₂에 대해서는 콘크리트收縮에 따른 引張應力을 測定하기 위한 鐵筋의 길이 方向中央部에 와이어 스트레인 게이지(Wire Strain Gauge)를 對稱으로 2장 붙혔다.

自由收縮측정용 供試體는 拘束供試體와 同一 形狀치수로써 拘束鐵筋을 配置하지 않는 것이다. 割裂引張 強度用 供試體는 φ100×200mm 을 썼다. 어떤것이든 供試體는 동일조건에서 3개를 제작하고 結果는 平均值을 썼다.

圖 1. 拘束供試體의 形狀 · 치수



(4) 콘크리트의 養生方法

콘크리트 養生 方法을 表 4에 나타냈다. 初期養生은 20℃ 養生으로 하고 ① 材令 1일까지 Cylinder 속에 있는 콘크리트의 윗면을 風速 4 m/s의 바람으로 증발시킨 것(送風養生: Ad) ② 材令 1일까지 봉함 養生한것(봉함양생: s) ③ 材令 1일 脫型後 2일간 수중양생한것(수중양생: W₂) ④ 材令 6일간 수중양생한것(수중양생: W₆)의 4가지 方法으로 했다.

初期養生終了後 전체 공시체를 온도 20℃, 濕度 約 60%의 室内에 靜置했다.

(5) 試驗項目 및 試驗方法

시험항목 및 시험방법을 表 5에 나타냈다. 拘束收縮과 같이 自由收縮은 材令 1일 脫型時를 기본 길이로 했다. 또 매립철근의 비틀림 정

表 4. 콘크리트의 養生方法

| 記號 | 初期養生方法 | 後養生方法 |
|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 送風 (Ad) | 打設後材令 1 日까지 4m/S의 送風 (콘크리트의 上面開放) 養生 | 溫度 : 20℃ 溫度 : 60% 空氣中養生 |
| (S) | 他設後材令 1 日까지 봉합養生 | |
| 水中 3 日 (W ₃) | 打設後材令 1 日까지 봉합, 脫型後材令 3 日까지 水中養生 | |
| 水中 7 日 (W ₇) | 打設後材令 1 日까지 봉합, 脫型後材令 7 日까지 水中養生 | |

表 5. 試驗項目 및 試驗方法

| 試驗項目 | 試驗方法 | 試驗材令 |
|------------|----------------------------|------------------------------|
| 拘束收縮 | JIS A 1129 (컴퍼레이터-方法) | 脫型時를 長으로한, 材令 3 日, 以後 7 日에 |
| 自由收縮 | | |
| 매설철근의 비틀림度 | 와이어스트레인지이지 (D22 測定) | 打設時를 基準으로 材令 3 日, 以後 7 日에 測定 |
| 重量變化 | 秤量 20kg, 感量 1g의 관수동 저울에 의해 | |
| 引張強度 | JIS A 1111 | 材令 3, 7, 28 日 및 균열 發生時 |

도는 Digital 형 자동기록계를 사용해서 기록했다.

3. 結果 및 考察

(1) 初期養生方法이 自由收縮率 · 중량 변화율에 미치는 영향

초기양생 방법을 변화한 공시체의 탈형시(材令 1 일)를 기본 길이로 한 자유수축율의 材令에 의한 變化를 圖 2(a)에 表示했다.

이때 脫型時를 기준으로한 中량감소율을 圖 2(b)에 表示했다.

재령 1 일까지 형틀중에 윗면을 개방해서 송풍양생(Ad)를 행한 경우, 재령 28 일 정도까지 수축율은 다른 양생 방법에 비교해서 크게 되지만 재령 120 일에 있어서 더 적게 나타났다.

이것은 圖 2(b)에 표시한바와 같이 Ad 양생은 초기 1 주간의 수분증발에 의한 重量減少率이 크고 이에 대응하는 수축도 크지만 그후 수

축하지 않았다.

S 양생은 이에 가까운 영향이 나타났다.

초기에 수중 양생한 경우(W₃, W₇) 水中에 있는 기간은 팽창하고 그후 공기중에 옮기면 빠르게 수축한다. 水中 거치기간이 2 일에서 6 일로 길어지면, 120 일에서는 수축치가 크게 된다. 이것은 물의 증발에 의해 콘크리트는 長期에 걸쳐 건조해서 수축을 동반하게 된다고 생각된다. 더우기 초기양생종료時(건조 開始時)를 원점으로 한 경우의 長期 수축 및 中량 감소율에 대해서도 검토했지만 材令 1 일 脫型時를 기준으로한 결과와 동일한 경향을 나타냈다.

初期 1 日 以内의 양생방법이 以後수축에 미치는 영향에 대해서 筆者는 實驗研究했다.

형틀중의 공시체를 材令 1 日 脫型까지 ① 윗면봉쇄 ② 윗면개방 ③ 윗면개방송풍(4m/s)의 양생을 행하고 以後 20℃ 공기중 양생으로 한 것이다.

결과의 예로 나타내면 圖 3 과 같다.

材令 1 日 以内(脫型까지)의 수분손실이 큰 윗면 개방 공시체는 1 日 以内의 수분 손실이 작은 윗면봉쇄 공시체보다 탈형후의 수축이 작고 수분 감소도 작았다.

(材令 1 日 脫型時의 中량 감소율은, ① 윗면봉쇄 : 0.5%, ② 윗면 개방 : 1.4%, ③ 윗면개방송풍 : 3.1%였다) 이에따라 材令 1 日 以内의 공시체의 수분손실이 클수록 탈형후의 수축은 적다는 것이 실증되었다. 초기 양생 방법과 수축에 관한 기존 연구의 대부분은 초기습윤양생기간의 길고 짧음이 수축·균열에 미치는 영향에 대해서 실험연구하고 있다.

中條는 2 日 탈형후 습윤양생기간을 0, 5, 12 일로 한 몰탈 공시체의 장기수축을 측정하고 있지만, 건조개시 시기를 기본길이로 한 경우 수중양생 기간이 길수록 수축은 크게 되었다.

日本 시멘트 기술협회는 7 종의 시멘트를 사용한 몰탈에 관해서 습윤양생기간을 5, 12, 26 일로 해서 수축시험을 실시한 중 건조개시시를 기본 길이로 한 경우 어느 시멘트의 경우도 습

윤 양생기간이 길수록 장기수축은 증대하지만 중량 감소율은 습윤양생기간이 길수록 거꾸로 작게 된다.

原田은 3종의 시멘트를 쓴 몰탈 또는 콘크리트에 관해서 탈형후의 수중양생기간을 3, 7, 14일로 변화해서 實驗하고, 보통 포트랜드 시멘트의 경우 습윤 양생의 길고 짧음은 건조개시를 기본 길이로 한 수축에 거의 영향은 없다고 한다. 또 중량 감소율은 습윤양생기간이 길수록 작게 되었다. 그 원인으로서 장기수중양생에 의해 몰탈 콘크리트가 밀집해지고 표면으로부터 수분증발이 방해되어지는 것이라 할 수 있다.

森田는 100×100×500mm 콘크리트 공시체에 관해서 습윤양생기간을 1, 3, 7, 28일로 해서 수축을 측정한 결과 건조개시시의 기본길이로 하던 습윤양생 7일까지는 재령 160일 정도 이내 수축에 거의 영향이 보이지 않는다. 필자의 결과와 비교해 보면 表 6에 나타난 바와 같이 수축에 관해서는 문헌 5~7의 결과는 거의 같지만 문헌 8~9는 초기 습윤 양생의 영향은 특히 없는 것으로 말하고 있지만 약간 상이하다.

공기중 보존기간에 대해서 공기습도, 건조속도의 大小가 결과에 미묘하게 영향을 미치므로 일괄되게 말할 수 없지만 형틀중에 송풍양생(Ad), 봉쇄양생(S) 또 水中 2.6일 양생(W₃, W₇)을 일련의 것으로 해서 고찰해 볼때,

본 방법에 의하여 얻어진 자유수축, 중량감소율의 재령에 의한 변화는 타당한 것으로 말 할 수 있다.

(2) 초기양생방법이 拘束收縮率에 미치는 영향

초기양생방법을 변화한 拘束 공시체 수축율의 재령에 의한 변화를 圖 4에 표시했다.

이 圖 4는 圖 2에 대응하는 것이다.

구속 수축율에 비해 작지만 균열을 발생할 때까지의 수축곡선은 자유 수축율과 같은 형태의 경향을 나타내고 있다.

균열이 발생하면 팽창의 경향을 나타내는 것(Ad)과 그후의 수축이 완화되어지는 것(S, W₃, W₇)이 있다.

이것은 균열발생에 의한 것마저 콘크리트의 수축응력과 결합되므로써, 압축되어 있는 구속 철근 응력의 일부가 개방되어서 철근의 복원력에 의해 콘크리트 수축율의 재령에 의한 변화가 변함으로 오는 이유이다.

送風養生(Ad)과 같이 큰 균열이 발생한 경우는 철근의 復元이 크게 팽창 경향이 나타난다.

한편 미세한 균열이 발생한 경우는 S, W₃, W₇ 양생으로는 균열발생후는 수축의 증가비율이 적어진다.

初期 1일 이내 양생 방법을 변화한 경우의 구

表 6. 初期水中습윤양생이 長期收縮, 중량감소율에 미치는 영향

| 문 헌 | 초기수중양생기간 | 장 기 수 축 | 중량감소율 | 비 고 |
|------------|----------------|------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------|
| 필자의 시험결과 | (H) 0, 2, 6 | 길수록 크다 | 길수록 크다 | 콘크리트(W/C: 60% Slump: 18cm) 10×10×40cm 공시체 측정재령: 120일 |
| 中 條 | 0, 5, 12 | 길수록 약간 작다. | 기재 없음 | 몰탈(1:2) 4×4×16cm 공시체 측정기간: 91일 |
| 일본시멘트 기술협회 | 5, 12, 26 | 길수록 크다 | 길수록 약간 작다 | 몰탈 4×4×16cm 공시체 측정기간: 26주 |
| 原 田 | 3, 7, 14 | 영향 없음 | " | 콘크리트(W/C 55% Slump: 3cm) 측정기간 몰탈(콘크리트에 의해 자갈 제외한 것): 52주 |
| 森 田 | 1, 3, 7, 28 | 수중양생 7일 이내에서는 재령 16일 이내의 수축에 영향 없음 | 기재 없음 | 콘크리트(W/C: 65% Slump: 15cm) 10×10×50cm 공시체 측정재령: 160일과 480일 |

圖 2. 自由收縮率, 重量減少率의 材令0.1의한 變化 [材令1日을 基準으로 한 場合]

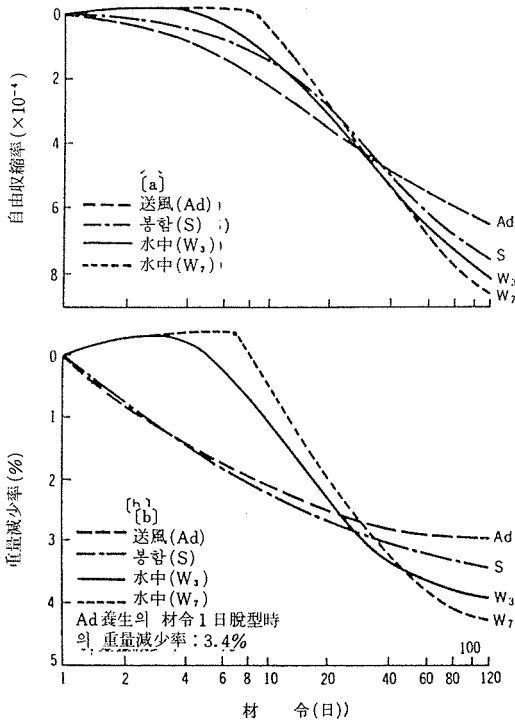
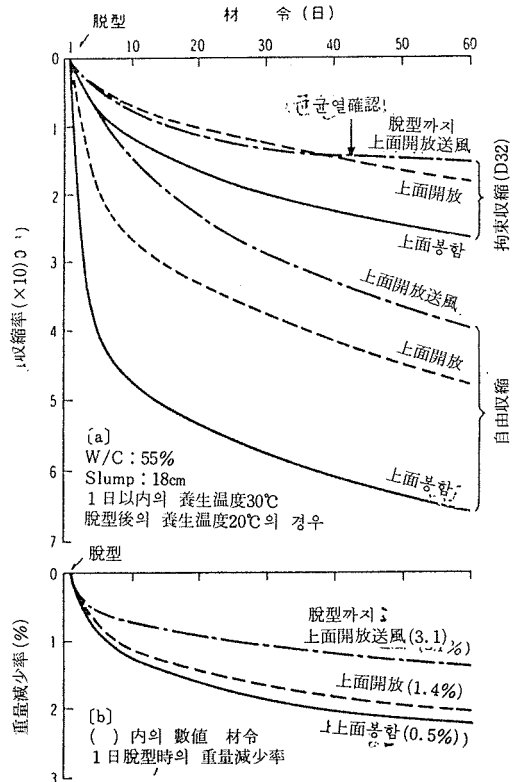


圖 3. 自由收縮率, 重量減少率의 材令에 의한 變化 [材令1日에서 脫型한 供試體]



속수 축윤의 재령에 의한 변화(圖 3 참조)에 의하면 초기에 엄격한 건조조건에 둔 공시체 또한 장기수축은 작은 경향이 나타났다.

(3) 콘크리트에 발생한 인장응력도

구속하에 있는 공시체(매립철근 D₂₂의 경우 중 측정했다)의 수축에 동반해서 발생하는 콘크리트의 인장응력도를 식 1에 의해 구했다.

$$\sigma_t = \frac{A_s}{A_c} \times E_s \times \epsilon_s \quad \dots\dots\dots(1)$$

여기서, σ_t : 콘크리트에 발생한 인장응력도 (kgf/cm²)

A_s : 매립철근의 공칭단면적 (cm²)

A_c : 콘크리트의 실단면적 (cm²)

E_s : 매립철근의 탄성계수

$$(2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2)$$

ϵ_s : 매립철근의 비틀림도

콘크리트에 발생한 인장응력도의 재령에 의한 변화를 圖 5에 나타냈다. 초기에 送風養生(Ad)와 봉함양생(S)을 행한 공시체는 탈형후, 인장을 계속하는 콘크리트가 수축하기 때문에 인장응력이 발생한다.

인장응력도는 균열발생시에 최대가 되고 이후 감소한다.

초기 수중양생을 한 공시체(W₃, W₇)는 수축양생중에 팽창하기 때문에 콘크리트중에 약간의 압축응력이 발생한다.

이것을 공기중에 옮기면 건조 수축에 의한 응

圖 4. 拘束收縮率의 材令에 의한 變化

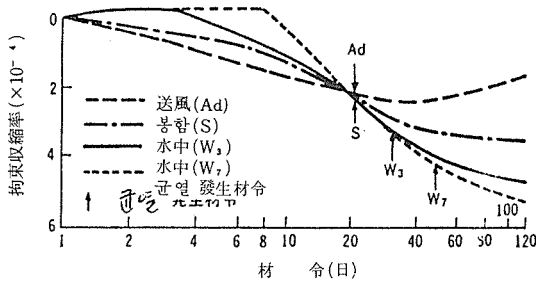
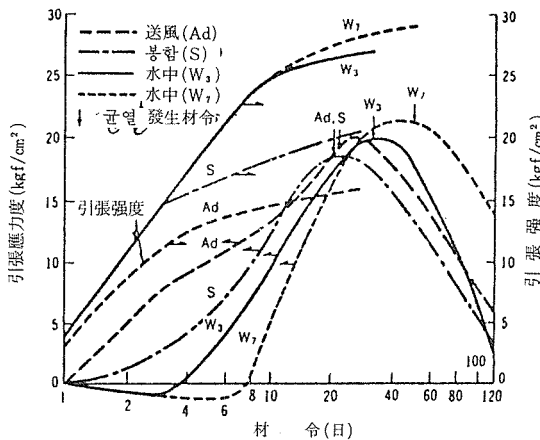


圖 5. 콘크리트의 引張應力度, 割裂引張強度의 材令에 의한 變化



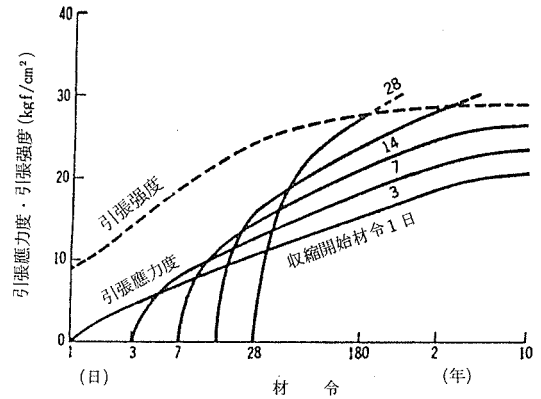
력이 발생해서 균열이 생기는 시점에서 최대가 되고 그후 감소가 된다.

인장응력도의 最大値는 양생방법이 상이해도 큰 차가 없고, 20kg/cm² 전후로 되어 있다.

균열발생시의 콘크리트 割裂引張強度(圖 6 중의 인장 강도곡선)을 보면 送風양생(Ad)는 약 16kgf/cm² 봉합양생(S)는 약 20kgf/cm², 수중양생(W₃, W₇)은 각각 27kgf/cm² 및 29kgf/cm²로 되어 있다.

이것에 의하면 균열발생시의 인장응력도는, 송풍 또는 봉합.

圖 6. 材令과 引張應力度의 計算值 및 콘크리트의 引張強度와의 關係



양생경우는 인장강도를 上廻하고 있지만 수중양생경우는 인장강도보다 작게 되었다.

이것은 송풍양생과 봉합양생은 시멘트의 수화가 충분히 진행되고 있지 않기 때문에 割裂 인장강도가 작고 더불어 균열 발생시의 콘크리트중의 수분이 작기 때문에 콘크리트 내부의 수분구배에 기인, 표층부에 발생하는 구속응력이 작게 되며 겉보기상 인장응력도는 크게 된다.

이것에 대해 수중양생을 행한 것은 割裂 인장강도는 크고 콘크리트中에 다량의 수분을 함유하기 때문에 木村의 보고에 나타난 바와 같이 콘크리트 내부의 수분 구배에 기인 表層部에 생기는 구속응력이 크게되고 인장응력도는 작게 되기 때문이다.

이의 구속 공시체의 단면은 정방향으로 표면의 응력분포는 같은 양상으로 되기는 어렵다고 예상된다.

형틀存置기간의 長短이 균열발생에 미치는 영향을 구속 응력면으로 검토한 것으로 Neville의 연구가 있다.

이것은 완전 구속상태에 어떤 부재의 구속인장응력의 성장을 구하는 이론식을 제안해서, 콘크리트의 물리상수와 그 시간적 변화를 가정해서 수축개시 재령의 長短이 균열 발생에 미치는 영향을 해석했다. 圖 6은 이런것들의 결과

表 7. 균열발생시의 材令, 拘束, 引張비틀림度, 拘束率

| 初期養生方法 | 埋込 鐵筋 | 균열發生時 | | |
|-----------------------------|-------|--------|-------------------------------|---------|
| | | 材令 (日) | 拘束引張비틀림度 ($\times 10^{-4}$) | 拘束率 (%) |
| 送 風 (Ad) | D 13 | 發生 없음 | - | - |
| | D 22 | 21 | 1.2 | 37 |
| | D 32 | 16 | 2.1 | 69 |
| 봉 합 (S) | D 13 | 95 | 1.8 | 26 |
| | D 22 | 21 | 1.0 | 32 |
| | D 32 | 17 | 2.0 | 70 |
| 水中 3 日 (W ³) | D 13 | 111 | 1.3 | 17 |
| | D 22 | 33 | 0.8 | 20 |
| | D 32 | 22 | 1.3 | 52 |
| 水中 7 日 (W ⁷) | D 13 | 119 | 1.3 | 15 |
| | D 22 | 49 | 1.3 | 24 |
| | D 32 | 29 | 2.3 | 60 |

로서, 균열발생은 구속에 의한 인장응력도 곡선과 인장강도곡선이 교차하는 시점에서 일어나는 것이다.

森田은, Neville의 방법에서 콘크리트의 상수를 바꾸어서 試算하고 있다.

이런 결과에 의하면 처음 재령에서 수축을 개시할수록 구속에 의한 引張응력의 발현은 작아지고 균열발생상 유리하게 되어 있다. 그러나 건축 RC 造와 같은 小단면의 부재로서 형틀존치기간의 長短에 의해 콘크리트의 강도발현이 대폭 달라지기 때문에 Neville의 圖와 같이 하나의 인장강도 곡선을 적용해서 균열발생을 검토하는 것은 바르지 않다.

森田은 Neville의 제안에 대해서 실제 콘크리트의 物性에 기인치 않으면 명확한 결론은 얻지 못함으로써 콘크리트의 습윤양생 기간을 1, 3, 14, 28일로 변화한 경우 수축강도 탄성계수에 대해서 실험연구하고, 이런 物性값을 Neville방법에 적용해서 구속인장응력을 구했다.

그 결과 조기전조는 구속 인장응력 低減에는 유효하지만 강도발현의 큰 손상때문에 균열 저감책으로서는 그다지 유효하지 않다.

永松은 외부구속 콘크리트 공시체의 전조개

시 재령을 2, 7, 28일로 변화해서 균열발생실험 또는 구속인장응력의 해석을 행하였지만 어느 것이든 전조개시 재령이 균열발생시기에 미치는 영향은 명확하게 나타나지 않았다.

이상을 요약하면 조기에 전조할수록 구속인장응력의 발현은 작아지고 균열 발생상 유리하다고 말하는 제안도 있지만 전조개시 재령과 균열 발생 시기와의 관계는 명확치 않다.

필자의 내부구속에 의한 실험결과로서는 Neville의 제안과는 다른, 습윤양생기간이 짧을수록, 초기로부터 전조할수록 구속 인장응력의 발현은 빠르고, 균열발생材令도 빨랐다. 또한 조기탈형하면 강도발현이 적은 것은 필자는 처음 多數의 문헌에 의해 실증되었기 때문에, 초기양생을 충분히 행하는 것이 콘크리트의 강도, 中性化, 내구성을 포함해서 중요한 것이라 생각된다.

(4) 균열 발생시의 材令·구속인장 비틀림, 구속율

균열발생시의 재령, 구속인장 비틀림, 구속율을 표 7에 나타냈다. 더불어 콘크리트에 생긴 구속인장 비틀림 또는 구속율은 각각 式(2) 式

(3)에 의해 구했다.

$$\epsilon_t = \epsilon_f - \epsilon_r \dots\dots\dots(2)$$

$$R = (\epsilon_t - \epsilon_r) / \epsilon_f \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

여기서, ϵ_t : 콘크리트에 생긴 구속인장 비틀림

ϵ_f : 콘크리트의 자유수축율(자유 수축 비틀림)

ϵ_r : 콘크리트의 구속수축율(구속 수축 비틀림)

R : 구속 공시체의 구속율(%)

이번에 행한 실험에서는 이형철근 D₁₃을 쓴 구속공시체의 送風養生(Ad)을 제외한 전체 공시체에 균열이 발생했다.

매립철근 D₁₃, 送風양생(Ad)의 경우 균열이 발생하지 않은 이유로서는 극히 초기에 급격히 건조했기 때문에 인장강도의 발현은 적고 처음 재령에서는 Creep량이 크고, 더불어 구속정도가 적기때문에 구속 인장응력의 발생이 극히 적어진다고 생각되어진다.

이런 균열발생재령은 초기에 송풍 양생을 행한 공시체가 더욱 빠르고, 다음으로서 봉함양

생·수중2일양생, 수중6일양생 순서로 늦어지고 있다.

본 실험에 있어서는 균열발생시에 미세한 것이 1~2개 확인되었지만 재령경과에 따라서 균열은 성장했다.

圖 7은 재령 6개월에 있어서 균열상황, 최대균열 폭을 나타낸 것이다.

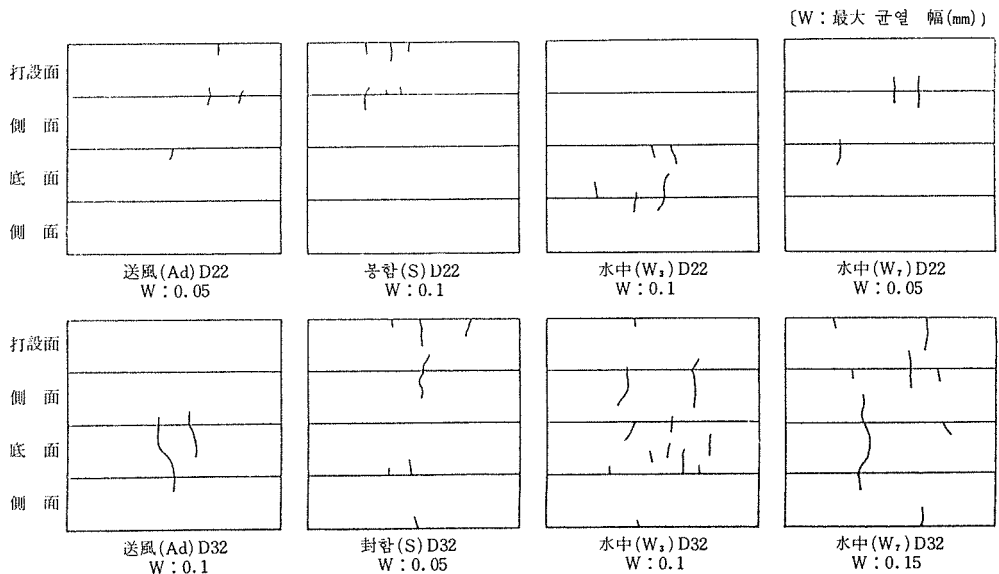
送風養生(Ad) 및 봉함養生(S)의 균열은 初期에 發生하지만 그 後의 진전은 적다. 水中養生(W₃, W₇)의 균열은 분산하지만 發生後의 진전은 크다.

이것은 Creep의 영향과 시험方法에 의한 것이다.

D₃₂ 이상이 D₂₂보다 구속력이 크기 때문에 균열발생이 많다. 균열 발생時의 콘크리트 표면의 구속인장비틀림은, 매립철근의 굵기가 두터울수록, 즉 구속정도가 높을수록 큰 경향이 있고, D₁₃의 경우 $1.3 \sim 1.8 \times 10^{-4}$, D₃₂의 경우 $1.3 \sim 2.3 \times 10^{-4}$ 으로 되어 있다.

초기양생에 의한 차이는 확인되지 않았다.

圖 7. 材令 6개월에서의 균열 狀況(展開圖)



균열 발생시의 구속율은 매립철근이 크게 됨에 따라서, 또한 초기에 건조시킬수록 크게 된다.

이와 같이 구속율은 매립철근의 굵기와 초기에 있어서 건조의 정도, 즉 수축량의 정도에 의해 상위(相違)하다.

4. 맺 음

초기양생(재령 1일부터 7 일까지의 습윤양생 기간은 변화한 것) 및 구속정도를 변화시킨 콘크리트의 장기수축 및 균열을 중심으로 실험한 결과를 아래와 같이 말할 수 있다.

(1) 초기양생방법을 변화한 콘크리트의 장기수축은 재령 1 일을 기본길이로 하면 초기 1 일 탈형이후 수중 6 일 양생(W₁)한 것이 더욱 크고 다음에 1 일 탈형 수중 2 일 양생(W₂) 봉합양생(S), 송풍양생(Ad)의 순으로 작게 된다.

또 초기양생 완료시를 기본길이로 해도 같은

경향이 된다.

(2) 내부 구속하에 있어서 콘크리트의 수축에 동반해서 발생하는 인장응력도는 재령경과에 따라 증가하고 균열발생시에서 최대가 되며 그후 저하한다.

(3) 내부 구속하에 있어서 콘크리트 균열 발생 재령은 초기에 건조시킨 것일수록 빠르고 초기에 수중양생시킨것은 이것에 비해 늦다. 그러나, 재령 6 개월에 있어서 균열상황은, 초기에 건조시키면 균열의 진전이 작다. 초기에 수분을 충분히 공급시키면 균열이 분산하고, 발생후의 진전에 큰 영향이 나타난다.

(4) 콘크리트의 早期탈형, 건조는 탈형후의 균열발생 및 그 진전을 작게하는 면도 있지만 강도발현을 손상시키고, 중성화가 빠르게 되며, 내구성 증진을 기대할 수 없다.

콘크리트는 초기에 충분한 형틀존치기간을 취하고 더불어 초기水濕양생을 행할 필요가 있다.

“외래품 배격하여
외채절감 앞당기자”