

중교통을 대상으로한 콘크리트포장 연구(Ⅱ)

Studies of Concrete Pavement for Heavy Traffics

尹 相 大

〈농어촌진흥공사 농어촌연구원 수석연구원〉

Ⅳ. 콘크리트포장의 역학메카니즘에 관한 검토

1. 서론

2. 시멘트의 수화열

3. 포장구조에 대한 중하중의 영향

- 1) 일 온도변화에 대한 축방향 구속응력
- 2) 연 온도변화에 대한 축방향 구속응력
- 3) 횡구속응력

4. 온도와 하중의 연성문제

5. 슬래브 균열부의 전단전달

6. 피로

- 1) 응력비의 영향
- 2) 주파수의 영향

7. 결론

참고문헌

Ⅳ. 콘크리트포장의 역학메카니즘에 관한 검토

(INVESTIGATION ON MECHANISMS OF CONCRETE PAVEMENT THERMAL STRESS AND DEFLECTION AT A CRACK AND HIGH STRSS-LOW CYCLE FATGUE PROPERTIES)

1. 서론

최근 자동차 대수의 증가 물동량의 증가 주행회수의 증대 교통하중의 증대 등 이른바 중교통화가 현재화 되고 있다. 이것에 따라서 콘크리트포장의 장점에 새로운가치를 발견하고 있다. 콘크리트포장을 중교통포장에 적용하기 위하여 슬래브두께의 증대 로반의 강화가 그 대응책으로서 채택되는 경우가 선진국의 추세이다. 통상의 무근콘크리트포장과 비

교하여 구조적약점부로 되기쉬운 횡방향수축 줄눈을 없앤 연속철근콘크리트포장, 포장슬래브의 복원력 특성을 대폭적으로 높인 프리스트레스콘크리트포장 등 새로운 형태의 포장이 중교통에 사용되는 것도 증가되고 있다. 또한 시공의 신속성, 경제성을 특징으로하는 전압콘크리트포장도 급격하게 증가되고 중교통에의 적용도 일단 시도되고 있다.

그러나 이와같은 중교통화에 따라서 종래의 휨강도를 중심으로한 설계법으로 보아서는 그 대응이 곤란한 문제로 된다. 그리고 시멘트의 수화열에 의한 온도균열 균열부의 하중전달 성능 고응력 저사이클피로가 주된 것으로 거론된다. 종래로부터 다연간의 문제로 되어있으나 온도나 수축의 경시적인 영향이나 이들하중과의 연성작용도 포장이 그 공용성을 강하게 요구되는 이상 해결하지 않으면 안되는 문제로 생각된다.

위에서 기술한 문제는 어느것도 그 해결은 용이하지 않으나 본 연구검토 과정에서는 현황 기술 범위에 있어서도 문제점을 지적하는 것과 금후 검토과제의 방향성을 제시하는 것이 문제 해결의 방법이다. 여기서 어느정도의 것은 결론에 이르게 되는것에도 큰의의가 있다. 이런것에 몰두하지않으면 콘크리트포장 기술개발이 정체되게 되는 것이 현황 문제점으로서 감히 검토과제로서 취급 하였다.

따라서 그 검토 결과는 충분하다고는 말할 수 없으나 큰의의가 있다고 생각된다.

2. 시멘트의 수화열

최근 사회간접자본시설의 대형화 고품질화 고기능화 등에 따라서 단면의 증대 단위시멘트량의 증가에 의하여 시멘트의 수화열 문제가 크게 대두되고 있다.

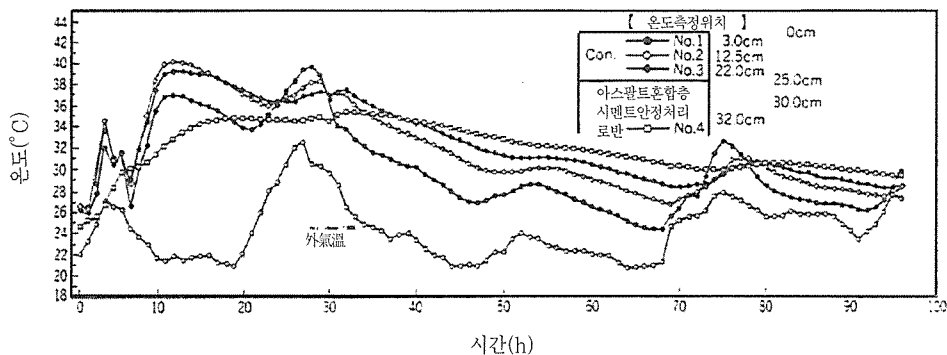
중교통 포장과 같이 슬래브두께가 두꺼운 경우는 시멘트의 수화열에 의한 응력을 고려할 필요가 발생한다. 콘크리트의 온도상승량에 영향되는 요인은 콘크리트 고유적인 것은 단열온도상승, 비열, 열전도율, 열팽창계수 등이나 구조적인 것은 슬래브두께, 로상, 로반의 특성, 열전도율 등 환경요인으로서 타설 온도, 외기온, 일조, 강우 등이 열거된다.

콘크리트 고유의 지배적인 요인은 콘크리트의 단열온도상승이다. 그러나 포장콘크리트 고유의 단열상승 특성을 고려할 필요는 없고 통상의 콘크리트와 같이 시멘트의 종류, 단위시멘트량, 혼화재료 등의 영향을 고려하는 것이 좋다.

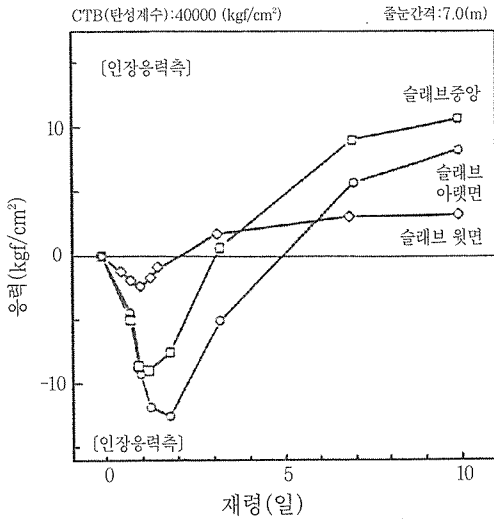
이외에 비교적 큰 영향요인은 슬래브두께와 표면의 열확산이다. 일반적인 포장구조의 시산결과에 의하면 슬래브두께를 25cm로부터 40cm로 하면 최고온도는 5℃ 정도 상승한다. 그러나 로반, 로상의 두께 종류 등은 콘크리트슬래브의 온도상승에 거의 영향을 미치지 않는다.

포장표면에서의 열확산은 열전달율로 평가되어 10kcal/m² · h · C 정도이나 양생방법 풍속 등 많은 인자의 영향을 받는다.

외기온은 직접적으로 슬래브의 온도에 영향을 미친다. [그림 31]은 포장슬래브에 처넣은 직후로부터 온도의 실측예이나 이 결과로부터도 표면부분이 특히 외기의 영향을 강하게 받는 모양이 인정된다. 또한 포장슬래브의 온도에 대한 외기온의 영향을 검토할 경우 일조의 영향을 가미하여 통상 측정되는 기온보다도 외기온보다도 10℃이상 높게되는 것으로 예상된다. [그림 31]에 있어서도 일조시에는 표면온도가 외기온보다도 높은 추이되는



(그림 31) 포장슬래브의 온도이력의 예



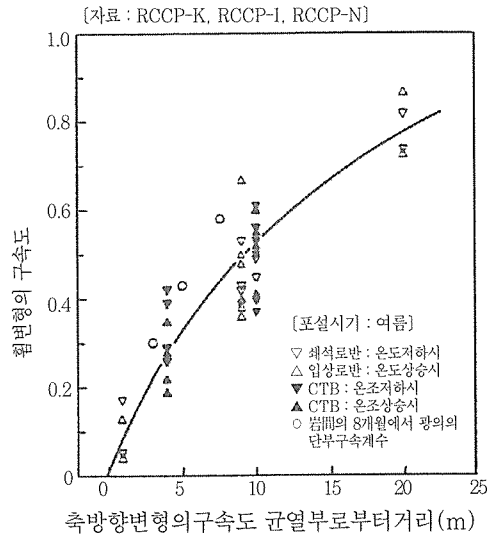
[그림 32] 콘크리트슬래브 응력의 경시변화

모양이 이해된다.

이와같이 포장후 초기의 온도변화에 의하여 어느정도 응력이 발생할 가능성이 있는가를 검토하기 위하여 치기온도 20℃, 최고온도 상승 15℃, 슬래브 두께 40cm, 줄눈간격 7m, 로반의 탄성계수 $4 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ 의 포장슬래브의 수화열에 의한 온도응력을 2차원 평면응력 문제로서 유한요소해석을 시행하였다. 그 결과를 [그림 32]에 도시하였다. 줄눈을 설치하기까지는 슬래브길이는 상당히 길므로 이것에 대응하여 응력이 이 경우보다 크지않게 한다. 외기온의 저하에 의하여 인장응력이 이 경우보다 빠른시기에 급속하게 발생하는 것이 고려된다. 이것을 고려하면 포설후 이틀 날 보이는 균열발생 원인을 설명할수 있을 가능성이 있는 것으로 생각된다.

3. 단기 장기의 외적온도 응력

콘크리트포장슬래브는 시멘트의 수화열에 의한 온도상승 뿐만아니라 로출면적이 넓고 일조나 강우의 영향을 받기쉽기 때문에 환경



[그림 33] 균열부로부터 거리와 축방향구속도

온도나 습도의 변화에 따른 체적변화를 받기 쉽다. 이 체적변화에 기인하는 응력은 내부구속응력과 외부구속응력으로 나누어 고려하는 것이 일반적이다. 내부구속응력은 콘크리트 슬래브방향에서의 온도 및 습도분포가 비선형으로되는 것에 기인하는 것이다. 외부구속응력은 체적변화에 기인하는 축변형이나 휨변형이 자중이나 로반에 의해 구속되는 것에 의해 발생하는 것이다.

종래 휨구속응력에 대하여는 설계상에도 취급되는 경우가 있었으나 그 계절적 변동이나 축구속응력은 무시되었다. 여기서 환경온도나 습도의 일 및 연변화에 따라 자유로운 축방향변형이 구속되는것에 의하여 발생하는 축구속응력의 자유로운 휨변형이 구속되는것에 의하여 발생하는 휨구속응력 및 내부구속응력에 대하여 검토한다.

1) 일 온도변화에 대한 축방향 구속응력

균열부로부터의 거리와 일 온도변화에 대한 축방향구속도와와의 관계를 [그림 33]에 도시하였다. 축방향구속도는 일 온도변화와 실

축축방향변형과의 관계를 최소자승법으로 직선근사시켜 「온도변화변형-실축변형/온도변화변형」에 의해 산출된 것이다. 균열부로부터의 거리가 길게되면 축방향구속도는 크게된다. 균열부로부터의 거리가 2.5m에서 약 0.2, 10m에서 약 0.5로 된다. 이들 균열로부터 거리의 2배가 줄눈간격에 상당하는 것으로 하면 축방향력의 외부구속응력은 일교차 온도를 10℃ 탄성계수 300,000 kgf/cm², 선팽창계수 10×10⁻⁶/℃로한 경우 줄눈간격이 5m때 6.0kgf/cm², 줄눈간격 20m때 15.0kgf/cm²로 된다. 줄눈간격이 길게 되면 큰 응력이 발생할 가능성이 있는 것이 이해된다.

2) 연 온도변화에 대한 축방향 구속응력

위에서 기술한 것과 같이 포장슬래브에 있어서 실시한 결과에 의하면 균열부로부터 10m위치에 있어서 슬래브 중앙부의 온도변화량과 축방향의 실변형 변화량과의 관계를 구하였다. 여름으로부터 겨울까지의 연온도 변화에 대한 축방향구속도는 0.24정도이다. 일 온도변화에서의 축방향구속도에 비하여 작다. 그러나 여간의 온도저하량을 30℃, 크리프를 고려한 유효탄성계수를 150,000kgf/cm² 선팽창계수를 10×10⁻⁶/℃로한 경우 수축응력은 약 10.8kgf/cm²로 된다. 이 값은 반드시 적다고는 말할수 없으나 줄눈 간격이 5~8m의 보통콘크리트포장에서는 축방향구속도는 적은 것으로 인장응력도도 적게되는 것이 고려된다.

3) 휨구속응력

균열부로부터의 거리와 일 온도변화에 대한 휨구속도와와의 관계를 [그림 34]에 도시하였다. 휨구속도는 하루사이 슬래브내에 온도차가 최소로 되는 시각의 온도 및 변형을 기준으로 하여 온도차가 최대로 되는 시각까지

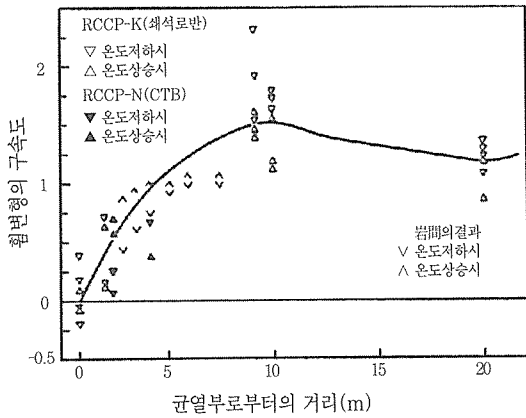
의 온도변형(온도차에 선팽창계수를 곱한 변형) 및 실변형의 변화량분포를 각각 2차식으로 근사시켜 이들의 Compensation Line의 기울기로부터 산출한 것이다.

휨구속도는 균열부로부터의 거리가 5m의 위치에서 1을 넘고 10m보다 약간작은 위치에서 1.5정도를 나타내어 균열부로부터의 거리가 길게되면 다시 1에 가까운 경향을 나타낸다. 휨구속도가 1(완전구속)을 넘게 되는 결과를 나타낸다. 이것은 슬래브길이가 길게 되면 슬래브내온도 수축분포에 의한 자유로운 휨변형이 자중의 영향을 받아서 온도분포와는 역방향의 기울기를 가진 변형을 발생시키기 때문이다. 이구속응력은 상당히 크게되는 것이 예측되나 하중을 받게되는때에는 로반에접하는 방향에 변형하는 것으로 고려되므로 하중과의 연성작용에서는 구속도1로서 고려하는 것이 좋은 것으로 생각된다. 이 휨구속도는 겨울철 보다도 여름철이 얼마정도 크게된다.

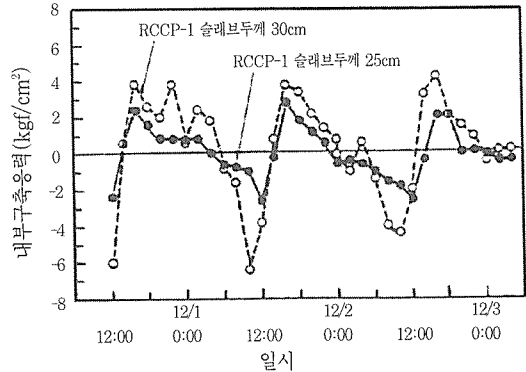
그렇지만 줄눈간격을 10m 휨구속도를 1탄성계수를 300,000kgf/cm², Compensation Line의 기울기(변형기울기)의 증가분을 4×10⁻⁵/cm, 슬래브두께를 25cm로한 휨구속도는 약15.0kgf/cm²로 된다.

나) 내부구속응력

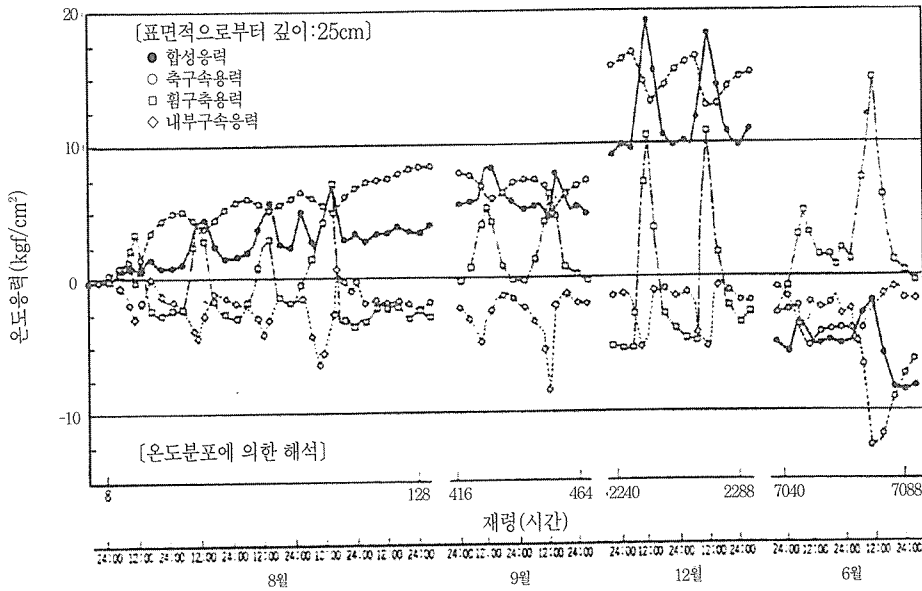
슬래브 두께30 및 25cm의 RCCP에서 실측된 온도분포를 2차식으로 가정하여 탄성계수를 300,000kgf/cm², 선팽창계수를 10×10⁻⁶/℃로서 산출된 콘크리트슬래브 아래면의 내부구속응력을 [그림 35]에 도시하였다. 내부구속응력은 슬래브두께 30cm에서 4.0~6.0kgf/cm², 25cm에서 3.0~2.5kgf/cm²의 비교적 적은값으로 되어 있다. 슬래브내 온도차가 큰 계절에는 내부구속응력이 보통 큰값을 나타내는 것으로 고려되나 포장슬래브에서는



(그림 34) 균열부로부터 거리와 휨구속도



(그림 35) 일 온도변화에 의한 내부구속응력



(그림 36) 온도응력의 각성분(축, 휨, 내부구속) (RCCP-K)

비교적 슬래브 두께가 얇기 때문에 내부구속 응력의 절대값은 외부구속응력에 비하여 작 게 되는 것으로 고려된다.

슬래브두께 25cm의 RCCP의 균열부로부터 10m 위치에 있어서 콘크리트슬래브 아래면 에 온도 응력의 각 성분마다 경시변화를 [그림 36]에 도시하였다. 줄눈간격이 긴 포장슬래브 에서는 휨구속응력뿐만 아니라 축구속응력도

고려할 필요가 있다. 또한 내부구속응력은 휨 구속응력을 제거하는 방향에 작용한다.

4. 온도와 하중의 연성문제

위에서 기술한바와 같이 콘크리트슬래브에 는 온도 수축 등의 자연환경요인에 의하여 무 시될 수 없는 응력이 발생되므로 콘크리트슬

래브의 구조설계에 있어서는 자연환경요인과 교통하중요인의 양자를 고려하지 않으면 안 된다.

자연환경에 의한 응력의 설계에 반영방법에 대하여는 포장설계법의 경우 2종류가 있다. 하나는 대표적인 중교통포장으로 되어있는 공항설계법의 경우로 하중응력으로바서 계산하여 이 응력이 콘크리트의 설계기준휨강도를 교통량에 따른 안전율로 나눈값과 같게되는 것으로 슬래브 두께가 결정된다. 이 경우 자연환경에 의한 응력은 직접계산되는 것은 아니다. 다른하나는 도로포장의 경우로 하중과 자연환경요인의 휨응력을 별도로 계산하여 이들의 단순화를 최대휨응력으로서 교통량의 영향을 뺀측으로 고려하는 것에 의해 슬래브두께가 결정되게 하는 것이다.

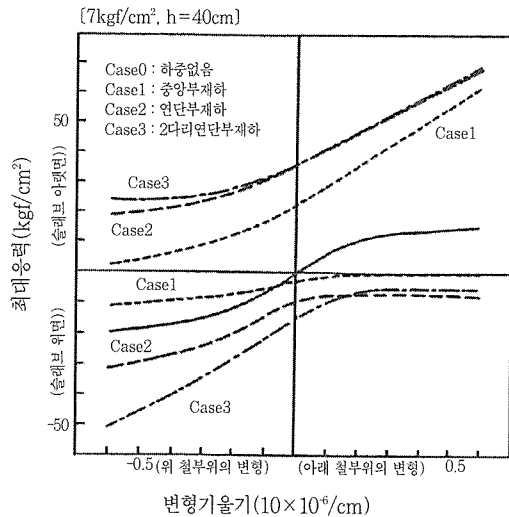
일반적으로 교통하중에 의한 응력은 콘크리트포장이 로반에 의해 지지되는 것으로서 계산된다. 따라서 온도, 온도기울기가 크게되므로서 콘크리트슬래브와 로반과의 사이에 공극이 발생하는 경우에도 이 방법을 적용하면 하중응력의 과소평가로 되는 위험성이 크다.

이와같은 경우의 응력에 대하여 유한요소법을 사용하여 수치적으로 검토하였다. 재하조건으로서는 하중없을 때(case 0), 중앙부재하(case 1), 연단부재하(case 2), 2각연단부하중(case 3)의 4조건을 고려 [표 8]에 표시한것과같이 계산조건아래서 자연환경과 교통하중에 의한 연성응력을 계산하였다. 자연환경요인은 슬래브두께 방향의 온도기울기와 수축변형기울기를 고려하였다. 여러 가지 재하조건에서 최대응력을 [그림 37]에 정리 표시하였다. 한편 그림의 최대응력의 정 및 부 각각 콘크리트슬래브 윗면 및 아래면 방향에 블록변형을 하는 것을 나타낸다.

하중 온도의 연성응력에 대하여 변형기울기가 없는 경우의 case 1~3의 하중응력과

[표 8] 계산조건

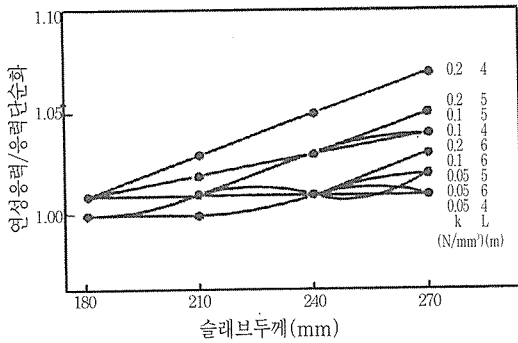
콘크리트 탄성계수	300.000kgf/cm ²
콘크리트 포아손비	0.2
콘크리트슬래브의 두께	30, 40cm
콘크리트슬래브의 폭과 길이	7.5m×7.5m
콘크리트의 선팽창계수	10×10 ⁻⁶ /°C
콘크리트의 단위중량	0.0023kg/m ³
로반의 k값	7.10kgf/cm ²
콘크리트슬래브의 온도기울기	-0.6~0.6°C/cm
하중	1축 80t(복복마퀴)



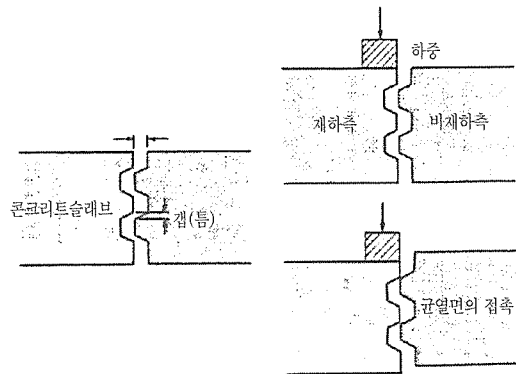
[그림 37] 최대응력

case 0의 온도 수축응력의 단순화와 비교하면 정, 부 어느경우도 온도 수축기울기가 큰 때에는 최대 응력에서는 모든case에서 최소 응력에서는 case 3에서 연성응력의 경우가 큰값으로 된다. 단순화를 고려하면 설계상은 위험측으로되는 것이 이해된다.

[그림 38]에 도시한것과 같이 Houben도 슬래브두께 h, 로반지지력계수 k, 슬래브길이 L을 여러 가지로 변화시켜 슬래브폭이 4m 온도기울기가 0.03°C/mm의 경우 하중과 온도응력의 연성응력을 하중과 온도응력의 단순화와 비교하여 양자의 상위한점을 검토



(그림 38) 연성응력과 슬래브두께



(그림 39) 균열에서의 하중전달

하였다. 이 그림으로부터 온도기울기가 일정한 조건아래서는 슬래브두께를 크게하는 것이 중교통포장으로서 중요한 것이다.

5. 슬래브 균열부의 전단전달

콘크리트슬래브의 균열부분은 구조적인 약점으로 되어있다. 하중이 균열된 콘크리트슬래브 1방향에 작용한 경우 균열에 있어서 하중전달이 어느정도 기능하는가에 의하여 콘크리트슬래브에 발생하는 응력은 크게 다르다. 하나는 설계수명의 산정에 큰 영향을 미치는 것이 된다. 따라서 균열부의 하중전달기구를 명확하게 하는 것이 대단히 중요하다.

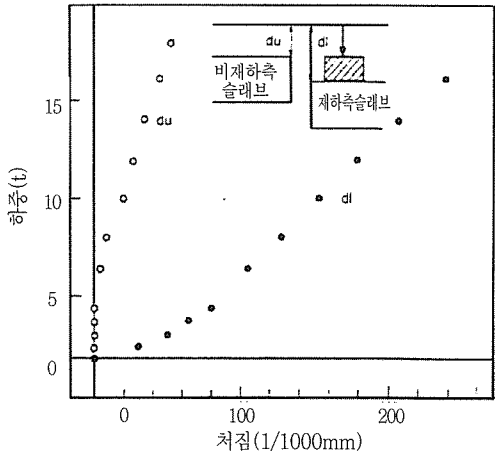
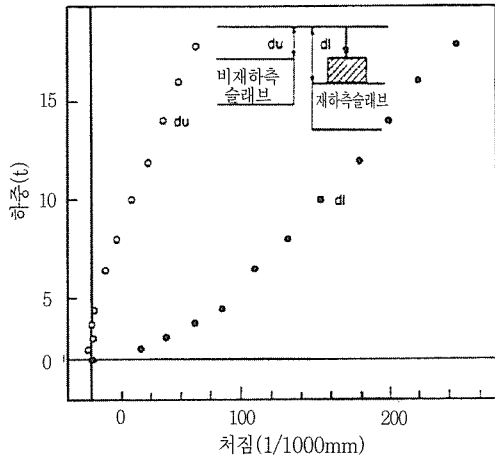
콘크리트포장슬래브에 발생하는 균열은 그 균열크기가 미세한 것으로 되어있으면 그 균열면은 상당한 전단전달기능을 가진다. 구조적인 기여분이 어느정도 고려된다. 콘크리트포장의 균열부의 이와같은 전단전달기구는 어긋나는 변위에 비례하여 전단응력이 전달되는 선형의 전단탄력에 의하여 모델화 시킨 것이 많다.

그러나 기왕의 연속철근콘크리트포장 모델공시체에 의한 실험에 있어서 균열폭이 0.3mm로 어긋나는 변위가 0.1mm정도 발생하는 경우가 있는 것이 보고되었다. 이것에 따른 것은 [그림 39]에도 도시한것과 같이 균열폭이 확

대하면 들뜸이 발생하여 하중이 작용하여도 골재가 접촉을 시작할때까지 균열면에서 전단전달이 시행되지 않는 것이 용이하게 추측된다. 골재가 맞물릴때까지는 콘크리트슬래브에 발생하는 휨응력은 자유연단부 재하로 되어 있다. 들뜸의 정도에 의하여는 비교적 엄한재하조건으로되는 것이 고려된다. 이 때문에 충분한 검토가 필요하나 재하측과 비재하측의 휨응력에 무시될수 없는 차가 인정되면 균열의 하중전달 고려방법에 새로운 관점을 가져오는 것으로 생각된다.

[그림 40]은 실제로 공용된 포장의 줄눈에 있어서 재하시험 결과이다. 재하측과 비재하측의 하중처짐 곡선을 도시한 것이다. 이것에 의하면 하중이 적은사이에는 비재하측의 처짐은 거의 0으로 되어있다. 어느 하중에 달하면 비재하측의 처짐이 발생한다. 재하측의 처짐기울기가 약간 크게되어있다. 이것은 줄눈을 통하여 하중전달이 유효하게 시작되므로 콘크리트슬래브 전체의 강성이 증가되기 때문이다. 이와같은 현상은 앞에서 기술한 균열면에 있어 들뜸의 존재를 뒷받침 하는 것이다.

종래의 전단전달모델에서는 이것은 전혀 고려되지 않으므로 균열면의 들뜸 정도가 재하측과 비재하측의 휨응력에 미치는 영향에 대하여 수치 시뮬레이션에 의해 다음과 같이



(그림 40) 재하시험에 있어서 하중-침하곡선

검토하였다.

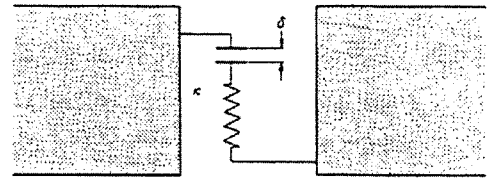
균열폭이 넓게되면 하중이 작용을 시작한 직후에는 균열면은 접촉되지않는 일시적인 자유연단부재하로 된다. 이것을 고려하기위하여 그림 41에 도시한 종래의 전단탄력에 들뜸을 직열로 결합시켰다. 이 경우 전단탄력정수는 다음식과 같이 된다.

$$k(|w_1 - w_u|) > D \text{의 경우}$$

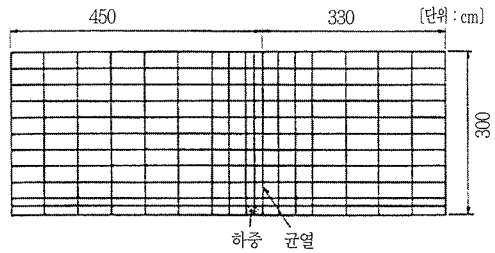
$$k = \{ \dots (4)$$

$$0(|w_1 - w_u|) < D \text{의 경우}$$

여기서 k : 전단탄력정수, w_1, w_u : 각각 재하측 및 비재하측의 처짐 D : 균열에 있어



(그림 41) 갭을 고려한 전단탄력모델



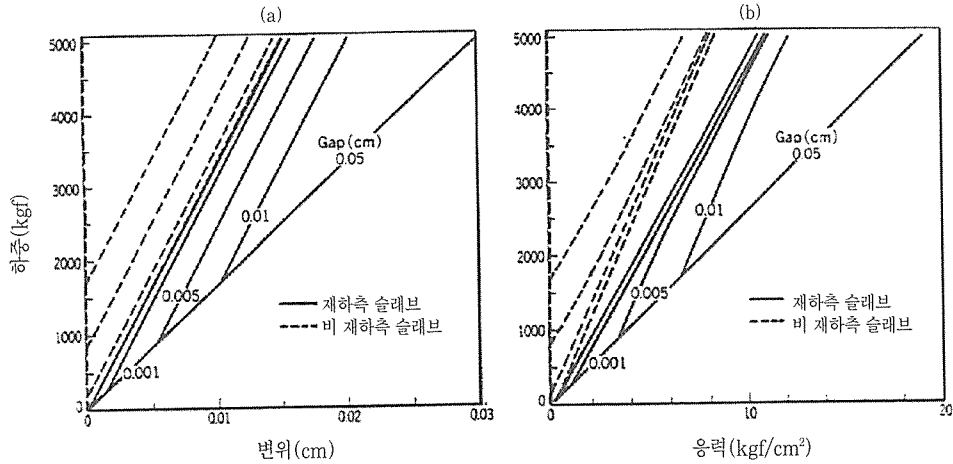
(그림 42) 계산에 사용된 요소분할

서 갭(들뜸) 이다. 구체적인 수치계산에 있어서는 증분법을 사용 재하측의 처짐과 비재하측의 처짐의 차를 모니터링하여 식(4)에 따라서 k 값을 조정시키는 것으로부터 계산을 진행시키는 것으로 하였다.

균열을 가진 콘크리트포장슬래브의 구조해석에는 평판FEM을 사용 [그림 42]에 도시한 것과 같은 요소분할을 사용하였다. 기타 계산에 필요한 수치는 [표 10]에 의하였다. 균열의 갭은 0, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05cm 5종류를 상정하여 갭의 크기영향을 조사하였다.

[표 10] 계산에 사용된 수치

콘크리트슬래브 두께	25cm
콘크리트의 탄성계수	300,000kgf/cm ²
콘크리트의 포아손비	0.2
전단 탄력비	100,000kgf/cm ²
로반K값	10kgf/cm ²
하중	5t(30×30cm)



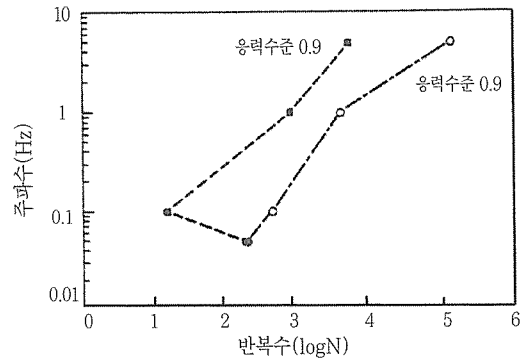
[그림 43] 갭이 콘크리트슬래브의 거동에 미치는 영향

[그림 43] (a)는 갭이 큰 D를 매개변수로 한 하중-처짐곡선을 도시한 것이다. 실선이 재하측, 파선이 비재하측의 처짐이다. 그림으로부터 밝혀진 것과 같이 균열에 있어서 갭이 없어질때까지지되면 그 후 단계가 명료한 하이리니어 거동을 나타낸다. 전반의 단계는 자유단연부재하 상태이다. 후반의 단계에서는 균열에서의 하중전달이 유효하게 되는상태로 된다. 각각의 단계에서 직선기울기는 갭이 크지 않으면 동일한 것으로 되어있으므로 하중의 최종단계에 있어서 재하측과 비재하측 처짐의 차는 대개D에 같게 된다. [그림 43]

(b)는 하중-응력곡선이다. 처짐의 경우와 같이 갭이 없어진후의 단계에 있어서 차는 명료하다. [표 11]은 하중의 최종단계에 있어서 재하측과 비재하측의 처짐 및 응력의 최대치를 정리한 것이다. 같은 콘크리트 포장구조에서 동일하중에 있어서도 갭이 크게되면 처짐이나 응력의 전달이 상당히 감소한다. 그 영향은 처짐에 있어서 특히 현저하다.

[표 11] 갭(GAP)과 전달율의 관계

갭(GAP)		재하측	비재하측	전달율(%)
0.0	처짐(cm)	0.01498	0.01480	98.8
	응력(kgf/cm ²)	10.52	8.31	79.0
0.01	처짐(cm)	0.015537	0.01421	91.1
	응력(kgf/cm ²)	10.86	7.99	73.4
0.005	처짐(cm)	0.01751	0.01227	70.1
	응력(kgf/cm ²)	11.02	7.83	71.1
0.01	처짐(cm)	0.02035	0.00975	43.0
	응력(kgf/cm ²)	12.14	6.70	55.2
0.05	처짐(cm)	0.02980	0.0	0.0
	응력(kgf/cm ²)	18.99	0.0	0.0



[그림 44] 재하주파수 때의 평균값

6. 피로

공항의 에프론 항만야드 등에서는 중하중이 비교적 낮은속도로 주행한다. 그렇지만 콘

크리트슬래브에 작용하는 교통하중의 주파수가 일반도로와 비교하여 적다. 이와같은 낮은 주파수가 반복하여 하중을 받는 콘크리트의 피로 특성 특히 피로수명에 관하여는 연구사례도 적고 밝혀진것도 없다.

여기서는 이점에 착안하여 콘크리트의 휨 피로수명에 대한 주파수의 영향과 낮은 주파수영역에서 응력비(반복최소응력/최대응력)의 영향에 관하여 실험을 시행하였다.

1) 응력비의 영향

콘크리트포장 설계에 있어서는 교통하중과 환경작용(온도변화)을 외적하중으로서 고려한다. 교통하중에 의한 응력은 초단위의 주기를 가지는데 대하여 온도변화에 의한 응력은 1일 주기를 가진다. 따라서 콘크리트슬래브에 작용하는 반복응력에는 응력비(최대응력 : 윤하중력+온도응력, 최소응력 : 온도응력)가 존재 되고 있다. 일반적으로는 반복하여 최소응력이 크게되면 그리고 응력비가 크게 되면 피로수명이 증가하는 것이 고려된다.

그렇지만 금회 시험결과에 의하면 응력비의 증가에 따라 피로수명의 증가현상은 볼 수 없었다. 이것은 기왕의 보고된 주파수 5Hz에 의한 피로시험결과와도 일치 한다. 콘크리트 피로 시험결과는 크게 불균형을 나타내어 응력비의 영향은 이 불균형중에 내포되어 있기 때문에 응력비의 명확한 영향이 나타나지 않는 것으로 고려된다. 따라서 응력비의 영향은 설계에 있어서 고려할 필요가 없는 것으로 판단된다.

2) 주파수의 영향

실험에서는 1, 0.1, 0.05Hz의 재하주파수를 설정하여 피로시험을 시행 하였다. 이 시험전에 시행하였던 주파수 5Hz의 피로시험 결과를 가하여 콘크리트의 휨피로시험 수명

에 대한 재하주파수의 영향을 검토 하였다. (그림 44)는 응력수준(반복최대응력 / 정적강도)0.9 및 0.8의 경우 평균값을 도시하였다. 응력수준 0.9의 경우에 역전현상이 보이 나 주파수의 감소에 따라서 피로수명이 분명하게 감소되는 것이 이해 되었다.

실험결과에 의하면 피로수명의 평균값은 주파수의 변화에 따라서 1/100부터 1/1000로 되는 것이 얻어지는 것이 이해된다. 이 원인으로서는 크리프의 영향 등이 고려되나 반복하중 아래서 콘크리트의 변형특성은 충분히 밝혀지지 않았다. 앞으로 검토가 요망된다.

이와같이 큰 재하주파수의 영향존재는 콘크리트포장 설계에 있어서 반영되지 않으면 안되나 본 실험에서는 시험공시체수가 적기 때문에 설계용 피로곡선 제안은 구축이 중요한 과제로 생각된다.

7. 결 론

콘크리트포장 중교통화에의 적용을 도모하는데 검토 고려하여야할 문제 중 특히 시공후 초기의 온도 발생기구 장기온도 및 건조수축 응력과 구속메카니즘 하중응력에 미치는 온도 및 건조수축응력의 영향 줄눈 및 균열부의 하중전달기구와 휨응력, 높은응력 낮은 사이클의 콘크리트휨피로 특성에 대하여 조사 검토를 시행하였다. 이 검토에 의하여 얻어진 주된 것은 다음과 같다.

① 여름철부터 가을철에 이어지는 시기에 포설된 슬래브두께 25cm 통상의 콘크리트포장 온도상승량은 10~15°C에 달하여 햇빛에 의해 콘크리트 온도상승량은 더욱이 크게되는 것을 나타낸다.

타설온도 20, 최고온도상승 15, 슬래브 두께40cm, 줄눈간격7m, 로반의 탄성계수 $4 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ 의 포장슬래브의 수화열에 의한

온도응력을 2차원 평면응력문제로서 유한요소 해석을 시행하였다. 그 결과 대개 10kgf/cm²의 인장응력이 발생되었다. 줄눈이 없는 상태에서 야간에 외기온의 저하에 의하여 슬래브의 온도가 급속하게 저하되는 것을 고려하여 포설후 다음날 보이는 균열발생 원인을 설명할수 있는 근거가 얻어질 가능성이 있다.

② 슬래브 두께 25cm 전압콘크리트 포장 슬래브의 균열로부터 10m위치의 실측휨구속도를 사용 일온도기울기 0.4°C/cm 로된 경우 휨구속응력은 약 10kgf/cm²이었다. 또한 실측 축방향구속도를 사용 콘크리트 크리프 영향을 고려하여 온도저하를 30°C로한 경우 재령 4개월의 축방향응력도는 약 15kgf/cm²이었다.

③ 균열면에 있어서 어느 전단변형이 발생되기까지 골재가 맞물려 하중전달되지 않는 것이 기와의 실험 및 실폐장에서 확인되었다. 이것을 기초로 골재가 맞물릴때까지는 전단강성은 그 후 전단강성을 선형탄력으로 모델화한 유한 요소법에 의해 초기의 자유 전단변형량 0~0.05mm의 5단계로 변화시켜 케이스 터디를 시행 초기 자유전단 변형의 크기에 의하여는 하중전달 효과가 상당히 저하하는 것 및 인접슬래브 사이의 휨응력에 큰 차가 발생할 가능성이 있는 것을 나타냈다. 또한 하중전달을 고려할 경우의 전단어긋남 변형의 중요성을 지적하였다.

④ 재하주파수를 5.0, 1.0, 0.1, 0.05 Hz 의 4수준, 응력수준을 90, 80, 70, 60%의 4수준으로 변화시켜 피로시험을 시행한 결과 응력수준이 80이상으로되면 피로수명은 1/100, 1/1000의 범위로 짧게되는 것이 밝혀졌다. 주행속도가 느린 공항의 에프론이나 항만의 야드 등에 대하여 종래의 도로용피로 곡선을 적용하는 것은 위험측의 설계로 되는 것이 밝혀졌다.

지금까지의 일련의 연구결과로부터 중교

통에 대처하는 포장공법으로서 FDCC공법이 가장 유효한 공법으로 검토되었으나 시공 유지관리와 관련된 부수적인 공법 및 많은 시공 실적이 축적되어 로반두께 및 강도 시공성 등 계속 검토가 요망된다.

본 연구자료는 콘크리트포장이 가지는 문제점에 대한 해결방안을 제공하였고 특히 중교통에 적용할 수 있는 이론적 근거를 제시하였고 최근 사회간접자본시설의 팽대와 특히 고속도로, 항만, 공항 등 신규로 계획된 사업에 적용성을 검토하고 21세기 국제경쟁력을 확보하기 위하여는 FDCC공법의 채택을 필수적인 것으로 판단된다. 특히 인천국제공항과 같이 동북아시아 중심권공항이 되고 장래 1,000명정도 탑승이 가능한 초대형 제트여객기의 상용화에 대비한 공항포장에는 필수적이라고 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Portland Cement Association, Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavement, 1984
2. PIARC-16th World Road Congress, Technical Report on Concrete Road, Vienna 1979.
3. 東 滋夫, 堀内正人, 草野昌夫, 石川浩三, 高度セメント安定處理路盤材料の基礎性狀, セメントコンクリート論文集, No. 45, pp.738-743, 1991.
4. 加形 護, 渡邊夏也, 阿部洋一, 左藤良一, 轉壓コンクリート鋪裝の鋪裝構造に關する檢討, 鋪裝 Vol25, No.11, pp.29~34, 1990.
5. 上野 敦, 秋山 崇, 國府勝郎, 超硬練りねよび硬練り再生リーコンクリートの強度および乾燥收縮性狀, 第17回コンクリート工學年次論文集, Vol.17, No.2 pp.71~76, 1995
6. 上野 敦, 國府勝郎, 秋山 崇, 再生骨材を用い

-
- た超硬練りリーコンクリートの強度および乾燥収縮, 土木學會 第50回年次 學術講演會 講演概要集 V, pp192~193, 1995. 9
7. 國府勝郎, 近藤拓也, 上野 敦, RCCP用コンクリートの締め固め性試験方法に関する研究 セメントコンクリート論文集 No. 46, pp 964-969, 1992
 8. 笠原 篤, 新たなコンクリート舗装: フルデプスコンクリート舗装の提案. セメントコンクリート No.584, pp24~32 1995.10
 9. 福手 動, コンクリート舗装の補修工法に関する検討, セメント コンクリート No 585, pp18~24. 1995. 11.
 10. 渡邊 加形, 佐藤, 阿部, RCCPの拘束度に関する研究. セメント コンクリート論文集 No.46. 1992.
 11. 熊倉, 渡邊, 小野寺, 佐藤, D交通に適用したRCCPの挙動, セメント コンクリート. No 540, 1992.
 12. 港灣研究, セメント協會, RCCPの港灣施設への適用性に関する研究, 1993.
 13. 岩間, コンクリート 舗装の構造設計に関する 實驗的 研究, 土木學會論文集Ⅲ 號
 14. JCI, マスコンクリートのひび割れ 制御指針, 1986.
 15. 石川, 渡邊, 加形, 佐藤, RCCPの温度應力に関する研究, セメント コンクリート 論文集, No. 48, 1994.,
 16. L, J, M, Houben, Finite Element Analysis of Plain Concrete Pavements Subjected to (Combined Action of) Temperature Gradients and (Edge) Traffic Loading, 3rd International Workshop on the Design and Evaluation of Concrete Road, 1994.
 17. 國府 藤郎 コンクリートの 重交通舗装への適用性セメントコンクリートNo. 583 1995. 9
 18. 佐藤良一, コンクリート舗装の 力學メカニズムに関する 検討 セメント コンクリート No. 586 1995.12