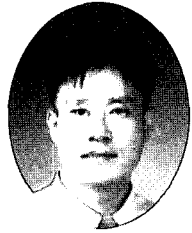


에폭시 수지 주입에 의한 콘크리트 균열보수부의 거동

- Behavior of Crack of Repaired Zone in Concrete by Injection Epoxy Resin -



신홍철*
Shin, Hong Chul



김규용**
Kim, Gyu Yong



박성우***
Park, Sung Woo



田中亨二****
Tanaka Kyoji

1. 서 론

콘크리트 구조물에는 다양한 원인에 의해 균열이 발생한다. 균열부분은 구조적으로 불연속으로 되어 역학적인 성능이 저하하는 것뿐만 아니라 부재내로 수분과 기체 등의 침입을 허용하여 구체의 내구성을 급격히 저하시키므로 균열부분은 보수가 필요하게 된다.

현재 사용되는 균열의 보수방법은 다양하지만 그 중에서도 에폭시 수지 주입공법은 구조적 보수도 가능하기 때문에 많이 사용된다. 이 방법은 저점도의 에폭시 수지를 균열내부까지 압입하여 에폭시 수지의 경화에 의해 균열부분을 일체화하는 것이다. 에폭시 수지는 접착제로서 개발되어 왔던 경위도 있고, 콘크리트와의 접착성이 우수하기 때문에 역학적인 일체화를 도모할 수 있다. 이와 같은 성질은 균열보수재로서 최적이다.

그러나 일반적으로 균열은 정지하여 있지 않고 온도, 습도의 변화 또는 외력에 의해 미세하지만 움직이고 있다. 특히 벽

체면에서 균열의 거동이 현저하고, 균열에 주입된 수지는 강제적으로 움직이게 된다. 이러한 관점에서 에폭시 수지 주입 보수공법을 볼 때, 거동(movement)의 영향에 대한 균열 보수부의 내피로성에 관한 검토가 거의 되어 있지 않은 점이 주목된다. 이 때문에 실제의 공사에서는 보수한 부분임에도 불구하고 보수부위 근처에 새로운 균열이 발생하거나 또는 주입 부분과 콘크리트 부분이 박리하는 등의 열화현상이 발생하고 있다. 건축물의 장기간 사용은 지금부터 신중히 생각해 보지 않으면 안되는 과제이다. 보수된 부분도 보수 당시만 건전한 상태로 있으면 성능을 만족하는 것이 아니고, 그 후에도 장기간에 걸쳐 보수된 상태가 유지되지 않으면 안 된다. 그러므로 보수부분의 내피로성에 주목할 필요가 있다. 이는 보수부에 발생하는 거동이 건물이 존재하는 기간중 계속하여 작용하기 때문이다.

그러므로 본고에서는 에폭시 수지 보수부에 생기는 거동에

착안하여, 피로시험을 이용하여 보수부의 내피로성의 평가하는 것을 목적으로 하고 있으며, 보수부의 피로특성을 파악하기 위해서는 먼저 에폭시 수지 보수부의 거동을 파악할 필요가 있다. 이 때문에 본 연구에서는 균열의 거동을 파악하기 위해 실제 건물에 발생한 균열폭의 변화를 실측하였으며 이의 결과를 기초로 보수부의 내피로성 평가의 필요성을 확인하고자 한다.

2. 사용한 에폭시 수지 보수재와 물성

2.1 사용한 에폭시 수지 보수재

사용한 에폭시 수지 보수재는 <표 1>에 나타난 바와 같이 기재로서 변성에폭시 수지, 경화제로서 변성지방족을 주원료로 하는 시판되고 있는 에폭시 수지 보수재 2종

표 1. 에폭시 수지 보수재의 배합

항목	성분		배합(%)
	기재	경화제	
경질형	비스페놀A형액상 에폭시 수지	100	100
	변성지방족 폴리민	100	100
연질형	비스페놀A형액상 에폭시 수지	73	73
	1관능반응성 희석제	15	15
	방향족형 희석제	12	12
	변성지방족 폴리민	85	85
경화제	방향족형 희석제	15	15

* 동경공업대학 건축물리연구센터 객원연구원

** 정회원, 삼성물산(주) 기술본부 기술연구소, 선임연구원

*** 삼성물산(주) 기술본부 기술연구소, 수석연구원

**** 동경공업대학 건축물리연구센터 교수

표 2. 에폭시 수지 보수재의 특성

항목	종류	경질형	연질형
종류	지점도형	중점도형	
점도(20°C)	300 cps	16,200 cps	
비중	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1	
경화수축율	1.0 %	0.1 %	
가열변화/질량변화율	1.8 %	4.0 %	
가열변화/체적변화율	1.8 %	4.1 %	

표 3. 에폭시 수지의 열팽창률(1/°C)

경질형	연질형
3.5×10^{-4}	8×10^{-3}

류, 경질형과 연질형을 사용하였다. 또한, 에폭시수지 보수재는 2성분혼합타입으로서 기재와 경화제의 배합비(중량비)는 2:1에, 혼합물의 제성상을 <표 2>에 나타내었다.

2.2 역학적 성질

에폭시 수지 보수재의 역학적 성질을 조사하기 위해 JIS K7113-1981(플라스틱의 인장시험방법)에 준하여 인장시험을 하였다. 온도와 보수재가 사용되는 일반적

온도환경을 고려하여, 5, 20, 30, 40°C로 하였다. 실험은 아령형 시험편을 이용하여 1mm/min의 속도에서 인장시험을 하였다. 시험할 때, 경질형에서는 변형계이지, 연질형에서는 버니어 캘리퍼스에 의해 변형을 측정하여, 응력과 변형률을 구하였다.

측정결과를 시험체수 5본의 평균치로 <그림 1>에 나타내었다. 경질형과 연질형에서는 역학적 성질이 크게 다르고, 최대 인장응력은 경질형이 높지만, 파단시의 변형률은 연질형이 크다. 온도의 영향에 있어서는 양자가 온도가 높게 됨에 따라 최대인장응력이 저하하는 경향이 보인다. 그러나 파단시의 변형률에 있어서는 경질형이 온도상승과 더불어 증가하는 것에 비하여 연질형에서는 역으로 감소하는 경향을 나타내었다. 탄성계수에 대해서는 <그림 2>에 나타내었으며, 온도의 상승과 함께 감소하는 경향이 있다. 특히 연질형에서는 5°C부터 20°C 사이에서 급격히 감소하는 경향을 나타내었다.

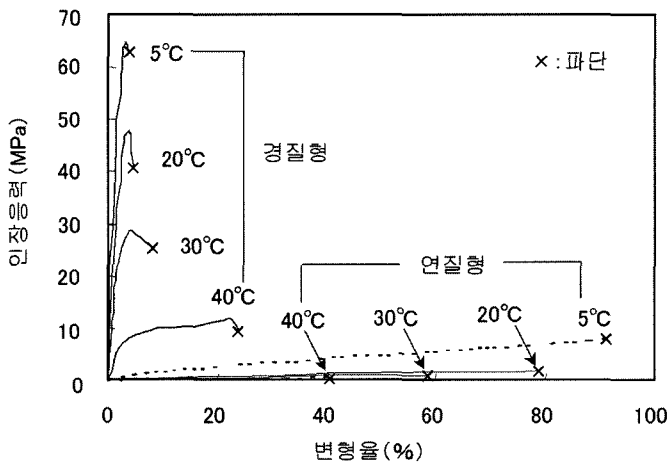


그림 1. 에폭시 수지 보수재의 역학적 성질

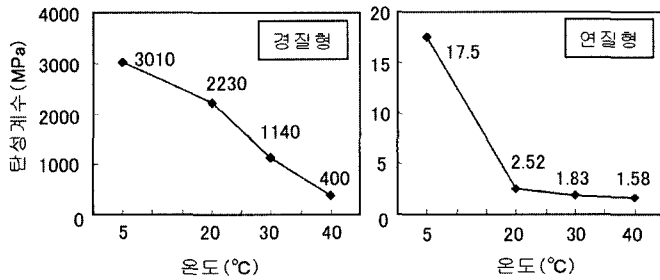


그림 2. 온도변화에 따른 탄성계수의 변화

2.3 열팽창계수

에폭시 수지 보수재의 열팽창계수 측정에는 직경 30mm, 높이 100mm의 시험체를 이용하여 JIS A 1325에 준하여 시험을 하였다. 측정결과를 <표 3>에 나타내었다. 경질형의 열팽창률은 경질형보다 상당히 큰 결과를 나타내었다.

3. 대상 균열의 개요

3.1 측정위치와 시기

실제 건물에 발생해 있는 균열 폭의 거동과 그 균열에 대해 에폭시 수지 보수재를 주입한 경우에 균열 폭의 변화는 어느 정도 억제되는 것인가를 확인하기 위하여 실측을 하였다.

<그림 3>에 실측한 건물의 구조와 균열의 측정위치를 나타내며, <표 4>에 대상 균열과 측정기간을 나타내었다. 측정대상으로서, 요코하마시 미도리구 나가추타 동

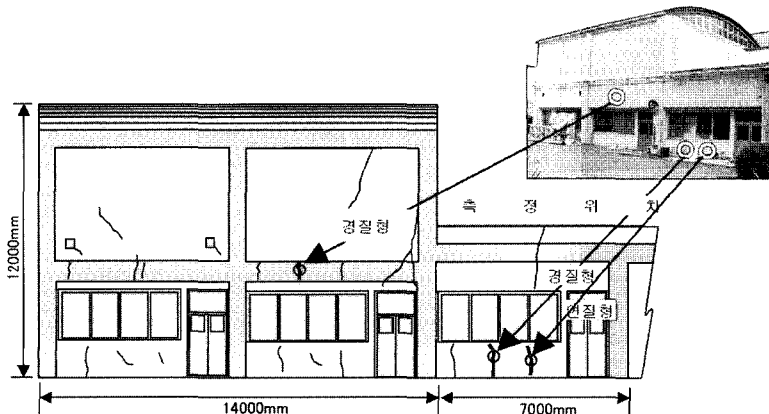


그림 3. 균열의 측정 위치와 실제 건물의 구조

표 4. 대상 균열과 측정기간

대상 균열폭	경질형	보부분 : 0.22 mm, 벽부분 : 0.45 mm	
	연질형	벽부분 : 0.50 mm	
측정 기간	경질형	보	보수 전 : 2001. 6. 9 ~ 6. 10
			보수 후 : 2001. 6. 28 ~ 6. 29
	벽	보수 전 : 2001. 4. 1 ~ 4. 2	
		보수 후 : 2001. 4. 5 ~ 4. 6	
연질형	벽	보수 전 : 2002. 1. 30 ~ 1. 31	
보수 후 : 2002. 3. 8 ~ 3. 9			
기후	전체 맑음		

표 5. 에폭시 수지 주입에 의한 보수

	경질형		연질형
	보	벽	벽
보수시기	2001. 6. 10 오후 3시	2001. 4. 2 오후 3시	2002. 1. 31 오후 3시
외기온(°C)	23°C	16.5°C	8.2°C
콘크리트 표면온도(°C)	28°C	23.5°C	10.6°C
보수공법	저압저속주입공법 ¹⁾		

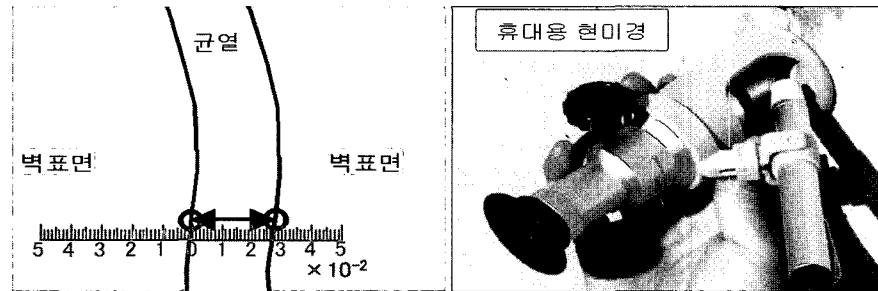


그림 4. 보수 전 균열폭의 측정방법

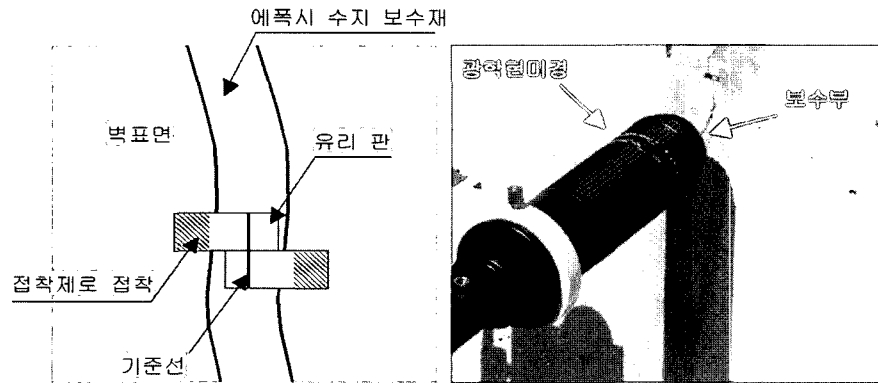


그림 5. 보수 후 균열폭의 측정방법

경공업대학 스즈카게다이 캠퍼스 내 실험동의 남서면의 벽부분에 생긴 두개의 균열과 보부분에 생긴 것의 3개소의 균열을 대상으로 하였다.

측정은 에폭시 수지 주입에 의한 보수 전과 보수 후에 대하여 실시하였다. 보수를 할 때에는 수지 보수부의 거동에 미치는 수지 보수재의 역학적 성질의 영향을 조사하기 위해, 보부분의 균열과 벽부분에

서 좌측의 균열에는 경질형 에폭시 수지 보수재를, 벽 부분 우측의 균열에는 연질형 에폭시 수지 보수재를 이용하였다.

3.2 에폭시 수지 주입 보수방법

보수는 문헌¹⁾의 저압 저속 주입공법을 참조하여 실시하였으며, <표 5>에 수지 주입할 때의 상황을 나타내었다. 보수의 순

서는 다음과 같다. 먼저, 보수하는 균열을 따라서 폭 6cm 정도의 오염, 부착물, 약한 부분을 제거하였다. 그 후에 주입구를 결정하고, 수지 주입용 파이프를 10cm 간격으로 설치하였다. 주입부분 이외의 균열 면은 테이프 또는 수지 접착제로 완전히 감쌌다. 수지 접착재가 완전히 경화한 후 에폭시 수지 접착재를 저압 저속으로 주입하였다.

3.3 거동 측정방법

3.3.1 보수 전의 측정방법

<그림 4>에 균열폭의 측정위치와 측정 상황을 나타내었다. 균열 거동의 측정은 맑은 날에 측정을 하였다. 수지 주입전의 균열에서는 상대적으로 큰 거동이 예상된다. 이 때문에 측정은 휴대용 현미경(×100)을 이용하여 균열폭에 직각방향의 변화를 실측하였다. 2시간 간격으로 측정하였으며, 균열에 발생하고 있는 거동 온도 변화를 받을 것으로 생각되어 거동 측정과 동시에 접촉형 온도계를 이용하여 표면온도도 측정하였다.

3.4 보수 후의 측정방법

보수 전의 균열폭의 변화를 측정한 후 에폭시 수지 보수재를 저압저속주입공법으로 보수하였다. 충분히 경화한 후의 맑은 날에 같은 부분의 거동을 측정하였다. 수지 주입 보수 후에는 균열의 거동이 구속되기 때문에 거동이 작게 된다. 연질형의 보수부는 전술의 휴대용 현미경으로 측정이 가능하였지만 경질형의 보수부의 거동은 매우 작게 되었다. 그 때문에 경질형의 경우에는 고배율(×800) 광학 현미경으로 확대하여 모니터 화면상에서 균열폭의 변화를 측정하였다. 그렇지만 에폭시 수지 주입폭이 0.5mm 정도이고 800배의 광학 현미경의 시야에 들어오지 않기 때문에 <그림 5>에 나타낸 것과 같이 먼저 표시를 낸 석영유리판을 양측의 콘크리트 부분에 접착시키고 그 표시한 부분의 상대변위를 측정하였다. 현미경에 의해 실측한 것은

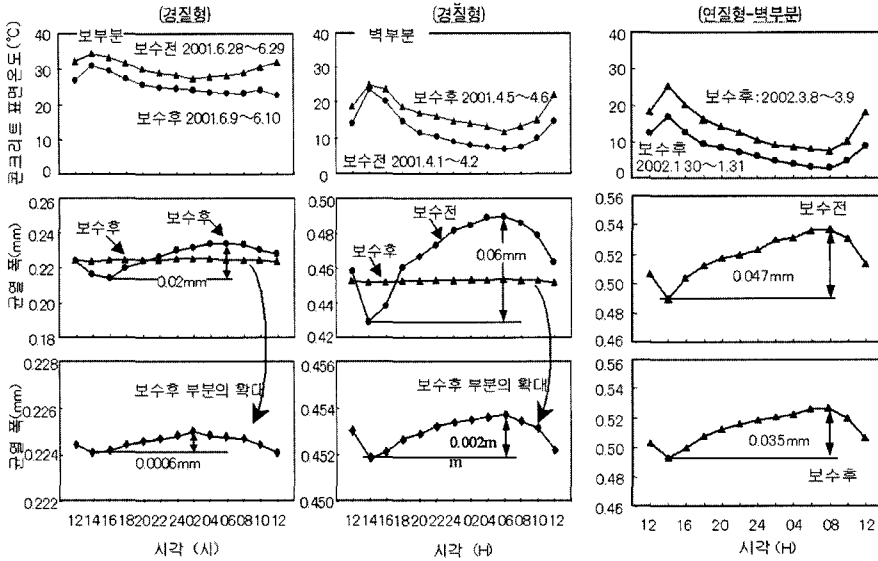


그림 6. 경질형 및 연질형 에폭시 수지 보수 전·후의 균열 거동

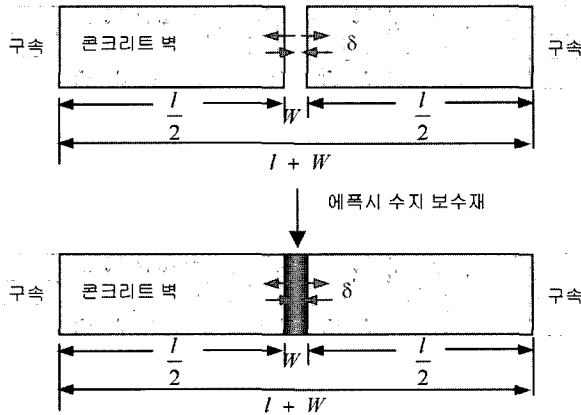


그림 8. 에폭시수지 보수부의 모델(단면도)

외벽면은 일사의 영향을 크게 받아 온도변화 폭이 크기 때문에 변위계를 가지고 측정하는 것은 온도의 영향에 의해 정확한 거동 측정이 어렵기 때문이다.

3.5 측정결과

3.5.1 경질형 에폭시 수지 주입 보수 전과 보수 후의 균열의 거동

1) 에폭시 수지 주입전의 거동

벽부분의 균열의 관측은, 비교적 큰 거동이 발생할 것으로 예상되는 춘계의 맑은 날(2001. 4. 1~4. 2)에 하였으며, 반대로 보부분의 균열은 거동이 작게 되는 시기인 하계의 맑은 날(2001. 6. 9~6.

10)에 하였다. 2시간마다 측정한 결과를 <그림 6>에 나타내었다. 이 벽면은 남서쪽에 면하고 있기 때문에 균열폭이 최소로 된 시간은 벽면온도가 최고온도에 달한 오후 2시경이고, 최대로 된 것은 이른 아침이었다. 측정에 의해 춘계의 벽부분의 균열진폭은 0.06 mm, 하계의 보부분의 균열진폭은 0.02 mm를 나타내었다.

2) 에폭시 수지 주입 후의 거동

주입 전 균열폭의 거동 측정 후 균열부분에 전술한 에폭시 수지보수재를 압입하였다. 충분히 경화 후 벽부분 균열에 대해서는 2001. 4. 5~4. 6일까지 보부분에 대해서는 2001. 6. 28~6. 29일까지 균열 보수부의 거동을 측정 하였다. 이 경우

는 주입된 에폭시 수지의 강성 때문에 거동이 구속되고, 전자가 진폭 0.002 mm, 후자가 0.0008 mm로 1/30 ~ 1/40 정도로 매우 많이 감소하였다. 그러나 균열폭의 변화는 에폭시 수지 주입에 의해 완전히 없어지지 않고 끊임없이 거동이 계속되고 있다.

3.5.2 연질형 에폭시 수지 주입 보수 전과 보수 후의 균열의 거동

1) 에폭시 수지 주입 전의 거동

균열폭의 관측은 동계의 맑은 날(2002. 1. 30~1. 31)에 2시간 간격으로 하였다. 측정결과를 <그림 7>에 나타내었다. 콘크리트의 표면온도가 높아지면 균열폭은 좁아지지만 역으로 콘크리트 표면온도가 내려가면 균열폭은 넓어지는 경향을 보인다. 측정에 의해, 동계의 벽부분의 균열 진폭은 0.05 mm 정도인 것으로 나타났다.

2) 에폭시 수지 주입 후의 거동

에폭시 수지 주입 전의 거동 측정 후, 균열부분에 연질형 에폭시 수지 보수재를 압입하였다. 충분히 경화한 후에 벽부분 균열에 대해서 2002. 3. 9~3. 10일까지 균열보수부의 거동을 측정하였다. 실측에 의해 균열폭의 진폭은 0.035 mm로 보수 전과 비교하여 약 3/4 정도로 나타났다. 또한 실제의 건물의 균열에서는 측정일이 다르기 때문에 엄밀한 비교는 할 수 없지만 경질형 에폭시 수지 보수재로 보수한 경우는 거동이 보수 전 보다 1/30 ~ 1/40 정도로 매우 작게 되었으나 연질형 에폭시 수지 주입의 영향은 상대적으로 크지 않았다.

4. 거동 예측

4.1 계산의 방식

균열보수부의 거동은 에폭시 수지 보수재의 역학적 성질의 영향을 받는다. 그 때문에 어느 정도의 거동이 발생할 것인가에

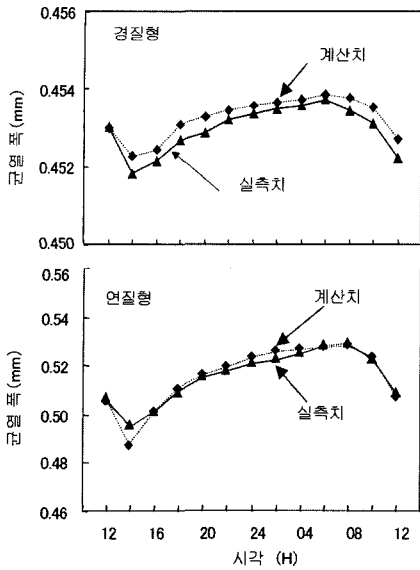


그림 9. 에폭시수지 보수 전·후의 균열 거동의 실측치와 계산치

대한 평가가 필요하여 이의 검토를 하였다. 실제의 균열부에 에폭시 수지를 주입하면 그 부분은 구축을 받기 때문에 거동이 작게 되어 구축을 고려한 거동 예측이 필요하게 되었다. 이는 <그림 8> 같이 모식화하였다.

온도 거동의 크기는 신축하는 부재의 길이에 의존하지만 실제 건물에서는 균열이 불규칙적으로 발생하기 때문에 길이가 명확하지 않다. 그러나 균열 거동과 그 당시 부재온도에 의한 신축에 대해서는 관련하는 부재길이를 추정하는 것이 가능하다. 이것을 가상의 부재유효길이라고 가정한다면 이때의 거동은 식(1)로 나타내어진다.

$$\delta = \alpha_c \cdot \Delta T \cdot \ell \quad (1)$$

여기서, δ : 균열의 거동

α_c : 콘크리트의 열팽창률

ΔT : 콘크리트의 온도차(°C)

ℓ : 부재유효길이

식(1)에 의해 균열 거동에 영향을 미치는 부재유효길이를 추정할 수 있다. 균열에 에폭시 수지 보수재가 주입된 경우 에폭시 수지의 존재 때문에 온도변화에 의한

균열부의 거동은 제한을 받아 작게 된다. 이 때의 거동은 식(2)로 나타낸다.

$$\delta' = \frac{(1 - \alpha_e \Delta T) E_c \alpha_c - (1 - \alpha_c \Delta T) E_e \alpha_e}{(1 - \alpha_c \Delta T) E_c \ell + (1 - \alpha_e \Delta T) E_e W} \times \Delta T \cdot W \cdot \ell \quad (2)$$

여기서, δ' : 에폭시 수지 보수 후의

균열 거동(mm)

E_c : 콘크리트 탄성계수(MPa)

E_e : 에폭시 수지 보수재

탄성계수(MPa)

α_c : 콘크리트 열팽창률(1/°C)

α_e : 에폭시수지

선팽창계수(1/°C)

ΔT : 콘크리트 표면온도 차(°C)

W : 에폭시 수지 보수부 폭(mm)

ℓ : 부재유효길이

4.2 균열보수 후의 거동 계산

먼저 식(1)을 이용해서 유효부재길이를 구하고 구한 값을 식(2)에 대입하여 에폭시 수지 보수재 주입부의 거동을 2시간 간격으로 계산하였다. 또한 에폭시 수지의 경화에는 어느 정도의 시간을 필요로 하고 완전 경화의 시기를 엄밀히 정의하는 것이 어렵기 때문에 여기서는 계산의 기점을 정오로 계산을 하였다. 계산에는 일반적인 값인 콘크리트의 탄성계수 2.2×10^4 MPa, 선팽창률 1×10^{-5} , 에폭시 수지 보수재는 <그림 1>과 <표 3>의 실험에 의해 얻어진 수치를 사용하였다.

벽면부분의 균열을 대상으로 계산을 한 결과를 <그림 9>에 나타내었다. 다소의 차는 있지만 실측치와 근사한 값을 나타내고 있다. 계산결과로부터 에폭시 수지 보수재의 물성은 보수 후의 거동에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 그리고 어느 정도 보수 후의 거동의 예측이 가능하다고 판단된다.

5. 결 론

실제의 건물에 발생한 균열의 폭에 대해서 에폭시 수지 보수 전과 보수 후의 변화를 실측한 결과 다음에 나타낸 결과가 얻어졌다.

- (1) 균열부에는 온도변화가 주 원인으로 되는 거동이 발생하고 있으며, 보수 후에는 에폭시 수지 보수재의 구축에 의해 균열보수부의 거동은 보수 전에 비해 작게 되지만 끊임없이 지속되고 있다.
- (2) 이러한 보수부의 거동에 의해 균열보수부는 반복 피로를 받으므로 이에 대한 평가가 필요하다.
- (3) 균열보수부의 거동은 에폭시 수지의 역학적 성질에 의해서 변화하고 이를 거동의 계산식에 의해 규명하였다. □

참고논문

1. 日本コンクリート工學協會, “コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針”, 2004.
2. 田中享二, 申 洪徹, 安藤紀明, “エポキシ樹脂注入によるコンクリート, モルタルのひび割れ補修部疲労試験方法”, 日本建築學會構造系論文集, 第554号, 2002. 11, pp.21~27.
3. I. A. Basunbul, A. A. Gubati, Al-Sulaimani and M. H. Baluch, “Repaired Reinforced Concrete Beams,” ACI Materials Journal, Vol.87, No.4, July~August, 1990, pp.348~354.
4. H. W. Chung and L. M. Lui, “Epoxy-Repaired Concrete Joints,” ACI Journal, June 1977, pp.264~267.
5. I. Ioannis D. Lefas and Michael D. Kotsovos, “Strength and Deformation Characteristics of Reinforced Concrete Walls under Load Reversals,” ACI Structural Journal, Vol.87, No.6, November~December 1990, pp.716~726