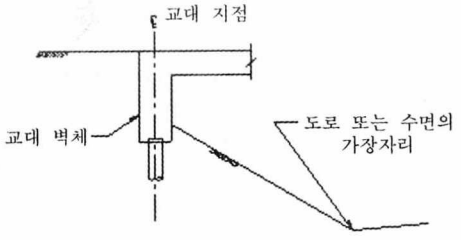
도로교량 교대의 균열양상에 대한 고찰

강 희 철
KSM기술(주) 부사장

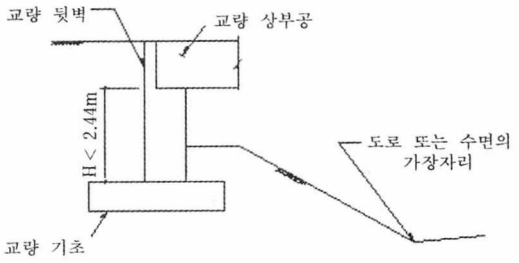
1. 개 요

교대는 교량의 시·종점을 지지하고 배면에 토압을 받는다. 교량 교대는 자체의 사하중과 상부구조에서 전달되는 수직 및 수평력을 하부 기초에 잘 전달해야 할뿐만 아니라 교대 배면의 토압, 수압 및 기타 하중에 안전하게 지지하는 구조가 되어야 한다. 이러한 기본적인 문제를 우리가 잘 알고 있지만 때때로 시공 중 혹은 시공 후에 현장에서 균열이 발생하여 그 원인 규명에 난감해 하는 경우가 있으므로 교대에서 발생하는 가장 기본적인 균열양상을 기술하여 실무에 조금이나마 도움이 될 수 있도록 하고자 본고에 제시하기로 한다.

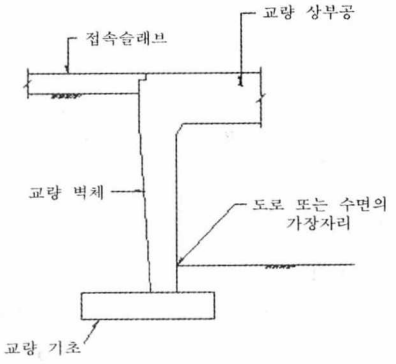
2. 교대 유형 (Types of Abutments)



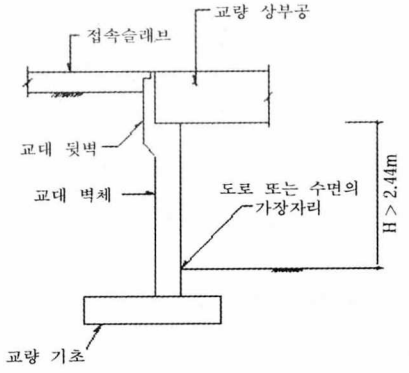
(a) 단부 개방형 일체식 교대



(b) 단부 개방의 높이가 낮은 역T형 교대



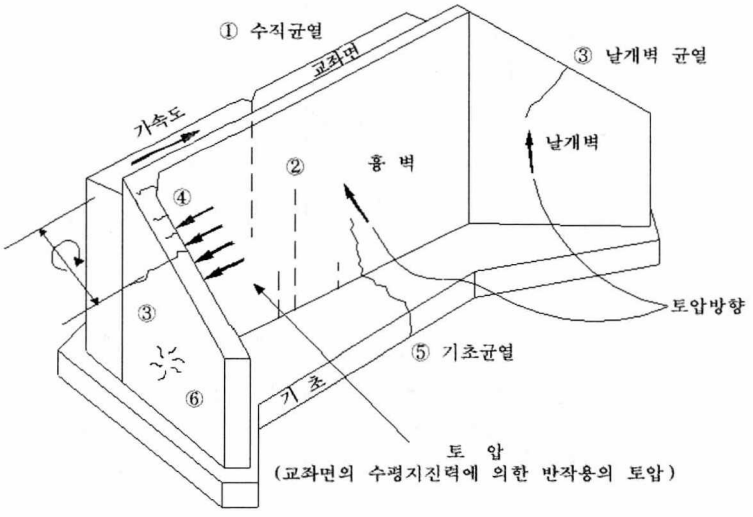
(c) 단부 폐쇄형 일체식 교대



(d) 단부 폐쇄의 높이가 높은 역T형 교대

3. 교대의 균열 양상

3.1 교대의 대표적인 균열



<그림 1> 교대의 대표적인 균열

3.2 균열 원인

1) 교대 전면의 수직균열 (①)

교대 전면은 대기에 노출되어 성토재료가 습기에 접한 교대의 배면에 비하여 대기 중으로 수분이 빨리 증발하게 된다. 따라서, 교대 전면과 배면의 불균일한 수축(Non-uniform shrinkage)에 의해 교대 상부에서 아래로 균열이 발생한다. 이러한 균열은 폭이 넓은 교대에서 시공이음(Construcsion joint)이나 신축이음(Expantion joint)을 두지 않아 ①과 같은 균열 양상이 나타나기도 한다.

2) 기초 상단에서 벽면에 수직한 교대 전면의 균열(②)

선 타설한 교대의 Footing은 후 타설할 교대 벽체에 비하여 상대적으로 강성(EI)이 크다. 그러므로 벽체 Footing에 의해 외부가 구속되어 있고, 이러한 외부 구속에 의해 수축이 방해를 받아 벽체에 수직으로 균열이 발생한다. 보통 부재의 중앙에서 먼저 발생하고 시간(일 또는 시간)을 두고 중앙부에서 교대의 가장자리로 등간격으로 발생하는 진행성 균열이 되지만 수일 후에 중지성 균열로 된다. 이런 유형의 균열을 최소화하기 위해 [건설교통부제정 콘크리트 구조설계기준 page 220 - 221] 에서는 벽체의 전체 단면적에 대한 최소 수평철근비를 다음과 같이 규정하고 있다.

가. 설계기준항복강도 4,000kg f/㎠ 이상으로서 D16 이하의 이형철근 A_s=0.0020bt

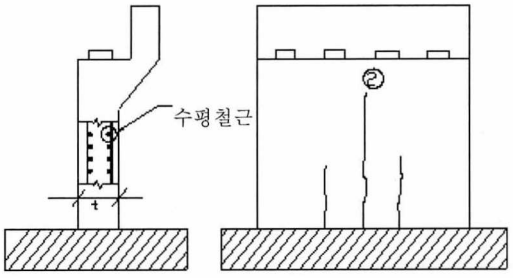
나. 기타 이형철근 A_s=0.0025bt

여기서, A_s : 최소 수평 철근량(㎠)

b : 단위 폭(길이), 100cm

t : 벽체 두께(cm)

이상의 최소 수평 철근량 이상을 벽체에 배치함으로써 외부구속에 의한 수축균열이나 1)항 교대 전면의 수직균열(①)양상을 최소한으로 제어할 수 있다.



<그림 2> 벽체 등간격의 수직균열

3) 날개벽 균열(Cracks in Wingwall,③)

날개벽은 교대 배면 진입도로의 성토재를 안전하게 유지키 위해 교대에서 확장된 옹벽을 말한다. 대표적인 날개벽의 유형으로 교대 흉벽(Breastwall)과 직선으로 연결된 ⓐ 직선형(Straight type)과, 진입도로의 평면선형과 평행한 ⓑ U-형 (U-shape), 교대 흉벽에서 각을 형성한 ⓒ 횃불형(Flared shape)이 있다, 이러한 균열 양상은 설계상의 가정(토압등)과 실제 구조물과의 거동차에 의해 발생하는 균열 양상이다.

4) 흉벽과 날개벽 사이(④)

토압 또는 지진시 교좌면에 작용하는 수평지진력과 배면 토압의 작용, 반작용의 Torque [<그림 1>참조] 에 의해 날개벽에 인장력이 발생하여 생긴 균열일 수도 있고, ③항과 같이 설계상의 가정(토압등)과 실제 구조물과의 거동차에 의해 발생하기도 한다.

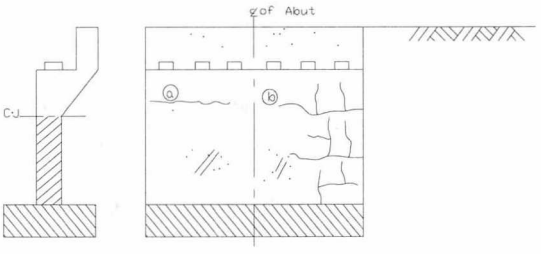
5) 기초 균열(Cracks in foundation, ⑤)

Footing 하부에서 벽체를 향하여 발생한 이 균열은 기초의 다짐불량 또는 연약지반에서 기초의 부등침하(Differential Settlement)에 의해 발생한 균열 유형이다.

6) 망사형 균열(Map cracking, ⑥)

콘크리트가 굳기 전(Fresh Concrete)에 소성수축에 의하여 표면이 건조함에 따라 생긴 수축균열이다. 이러한 균열은 시멘트의 이상 응결이나, 장시간 비빈 경우에 방향성이 없어 여러 곳에 망사형 균열이 발생한다. Map Cracking은 적합한 배합설계, 충분한 다짐 및 표면의 신속한 건조를 방지함으로써 제어할 수 있는 균열로 교량의 상부 및 교각에서도 흔히 발생하는 균열이다.

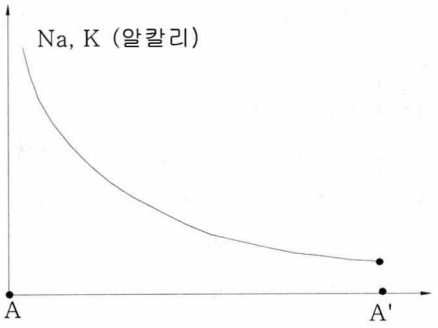
7) 알칼리 골재 반응(Alkali Aggregate Reaction)에 의한 균열



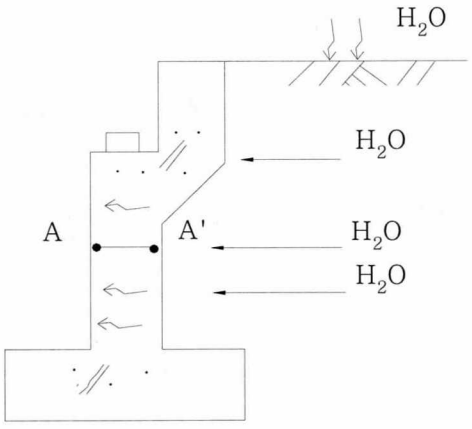
<그림 3> 알칼리 골재반응에 의한 균열(ⓑ)

콘크리트 구조물의 대기에 접하는 표층부분에서는 보통 알칼리의 농도가 저하되어 있다. 그러나 〈그림4,5〉와 같이 흙에서 콘크리트에 공급된 수분이 콘크리트의 내부를 통하여 외부로 이동할 때, 콘크리트 내부 속의 알칼리성분이 대기에 접한 콘크리트 표면 부분에 농축되

어 균열이 발생한다. 이러한 균열은 보통 방향성이 없고 귀갑상으로 되어 구조물 표면이 열화(Deterioration) 되어 들뜨게 한다. 이러한 알칼리의 이동은 알칼리 농도의 확산이 아닌 세공용액 자체의 이동에 기인한 것이다



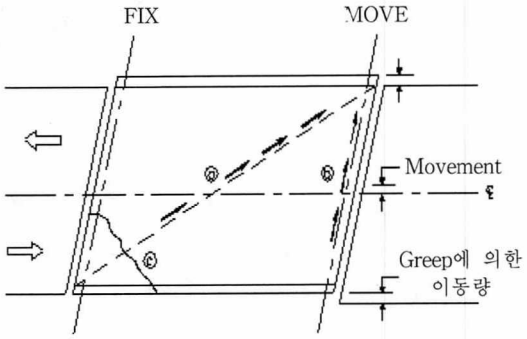
<그림 4> 알칼리 분포



<그림 5> 흙에 접한 구조물의 수분이동 경로

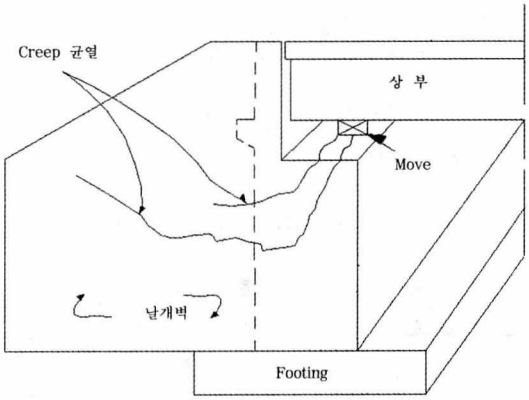
<그림 3>의 ⓐ와 같은 수평 균열은 철근 겹이음 길이 부족 또는 시공 이음부에서 다짐불량 및 휨모멘트에 의한 주철근량의 부족일수도 있다. 시공시에 이음부의 레이탄스(Laitance)는 철저히 제거하고 청소를 한 후 검측을 실시한다. 검측 후 다음 타설 Lift는 현장 여건이 허락하는 한 신속히 타설함이 좋다.

8) 사교 교대의 Creep 균열



<그림 6> 사교(Skew Bridge)

<그림 6>과 같이 사교는 접속도로에 적합하도록 시공되는데 보통, 사교 상판의 장방향 대각선(ⓐ)은 교량 공용 중에 대각선 방향으로 팽창하려는 경향이 있다. 이때, 가동단의 횡방향 이동이 ⓑ와 같이 가동단 상판 예각부측으로 이동하게 되고 고정단의 예각부는 그림ⓒ와 같이 온도변화에 의하여 사균열이 발생한다. 일정한 응력이 장시간 계속하여 작용하고 있을 때 변형은 계속하여 진행되는 현상을 Creep이라 하고, 이때의 일어난 변형율을 Creep 변형율이라 한다. 콘크리트 구조물에 있어서 주로 사하중이 지속하중(장기 하중)의 구실을 하고 건조수축, 온도변화의 영향도 지속하중으로 작용하게 된다. 가동단 상판은 <그림 6>의 ⓑ와 같이 이동하지만 교대는 구속되어 교좌 가장자리에서 균열이 시작하여 날개벽으로 진전된다 <그림 7 참조>. ACI 규정에 의한 재하 후 t시간에서의 Creep 변형율은 다음과 같다.



<그림 7> 사교 가동단의 Creep균열

$$(\varepsilon_{cr})_t = (\varepsilon_i)C_{(t)}$$

여기서, ε_i : 하중 재하시의 초기 변형율

$C_{(t)}$: 시간에 따른 Creep 변형

4. 맺음말

이상 개략적으로 도로 교량 교대의 균열 양상 및 그 원인을 기술하였으며 현장에서 발생하는 교대의 균열원인은 재시된 내용을 참고로 하여 균열을 최소화할 수 있도록 구조세목에 이르기까지 설계, 시공, 감리에 최선을 다해야 겠다. 일단 균열이 발생하면 구조적 측면에서 균열이 난 직각방향의 구조적 철근의 충분한 배근 유무를 확인하고 건조수축 및 온도 철근의 배근 유무 등도 동시에 검토할 사항이다. 보통 사교 교대설계에서 Creep의 영향을 강도 계산에 고려할 필요는 없지만 사교 및 곡선교의 가동단 교대에서는 Creep에 의한 균열이 발생할 수 있으므로 압축 측에 충분한 철근배근을 하는 등 좀더 세심한 배려를 기울여 균열이 최소화 되도록 설계 및 건설현장에서 가일층 노력해야 될 줄 안다.

참 고 문 헌

1. 『ACI Manual of concrete practice』, part4, 1999
2. Sung H.Park, PE & LS, 『Bridge Inspection and Structural Analysis』, 1980
3. Wai-Fah Chen Lian Duan, 『Bridge Engineering Handbook』, CRC Press, 2000
4. M.J.N. Priestley F. Seisble, 『Seismic Design and Retrofit of Bridges』,John Wiley & Sons, Inc. 1996
5. 변동근, 신현묵, 문제길, 『철근 콘크리트』, 동명사, 1985
6. 건설교통부, 『콘크리트 구조 설계기준』, 한국콘크리트학회, 대한건축학회, 1999
7. 콘크리트 구조물의 조기열화 내구성진단, 일광, 1995