

확대기초의 신규 콘크리트 접합 모형실험

Mock-Up Test for Connection of New-Old Concrete of Footing

황철성¹ · 유성원^{*}

Chul-Sung Hwang¹ · Sung-Won Yoo^{1*}

(Received February 28, 2018 / Revised March 5, 2018 / Accepted March 5, 2018)

In general, when an existing pier is enlarged and reinforced using a small diameter pile, bonded anchor with deformed reinforcing bars is used to maintain the integrity of the joint. However, in the case of bonded anchors, the performance depends largely on the type of joint material. Nevertheless, unlike mechanical anchors, there is no standard method for designing appropriate design methods and proper performance evaluation. Therefore, in this study, the performance of the anchoring anchor was evaluated by performing a model experiment using the reinforcing bars and anchor reinforcing bars. Experimental results show that the structural performance of the unbonded specimen is the best, and the failure mode is the punching shear failure. The deflection of the end of the member is smaller than that of the unconnected member, The deflection of the connected member is larger than the deflection of the small connected member. As the load increases, the possibility of slippage of the anchor steel or fold connection rebar is high.

키워드 : 접합, 겹이음, 앵커, 모형실험

Keywords : Connection, Fold connection, Anchor, Mock-up test

1. 서론

교량 주구 구성부재의 보강주기는 20~25년 정도인 이유로 교량의 수명동안 최소한 1번 이상의 주요한 보강이 실시되어야 하며 특히 교량의 하부구조물은 상부구조의 하중을 지지하고 기초를 통하여 지반에 전달하는 매우 중요한 구조부재로서 급속한 교량의 증가와 비례하여 교량기초의 유지보수비 또한 상당히 많이 증가하는 추세에 있는 실정이다. 최근 교량기초 및 파일 등의 손상에 대한 보강 대책으로 소구경 말뚝의 추가 설치에 대한 연구(Atorod et al. 1993; Oranong et al. 1977)가 진행되고 있으나, 손상된 기초 콘크리트와 소구경 파일 설치를 위한 신설 콘크리트가 구조적으로 일체거동을 할 수 있는 방안에 대한 연구는 거의 수행되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 공용 중인 교량기초의 손상 시 소구경 말뚝의 보강을 위한 신설 콘크리트를 타설할 때 기존 기초 콘크리트와의 일체 거동을 시킬 수 있는 최적의 접합 방안을 도출하고자 하였다.

현재 주로 사용되고 있는 교량기초의 보수공법들은 적용의 어려움, 시공상의 문제, 높은 공사비, 세굴에 대한 불확실성 등의 단점을 가지고 있으며, 교량 유지 보수비로 연간 수백억 원에 달하는 예산

이 소요되지만 교량의 수명을 연장시키기 위한 필수적인 교량기초 부분의 효율적인 보강공법이 전무한 실정이다. 최근 교량기초 및 파일 등의 손상에 대한 보강 대책으로 소구경 말뚝의 추가 설치에 대한 연구(Oh et al. 1990; Choi et al. 1994)가 진행되기 시작하고 있으나, 손상된 기존의 기초 콘크리트와 소구경 파일 설치를 위한 신설 콘크리트가 구조적으로 일체거동을 할 수 있는 방안에 대한 연구는 거의 수행되고 있지 않다.

1990년대부터 선진국에서 도입되고 있는 내진설계의 영향으로 국내 교량은 1992년 도로교시방서에 처음으로 내진설계가 도입되었으나, 1996년 이후 내진성능이 확보된 교량은 여전히 불과 1% 미만이며, 따라서 내진설계로 시공되지 않은 교량기초는 다른 부위의 손상에 비해 부등침하 또는 액상화 등에 의한 심각한 기초의 손상이 발생할 수 있는 실정이다.

따라서 교량기초의 손상 시 소구경 말뚝의 보강을 위해서 신설 콘크리트를 타설할 때 기존 기초 콘크리트와 일체화 거동을 시킬 수 있는 최적의 접합 방안의 연구가 절실하며, 본 연구에서는 철근/앵커에 의한 신규 콘크리트의 접합을 변수로 하여 실험적 연구를 수행하였다.

* Corresponding author E-mail: imysw@gachon.ac.kr

¹가천대학교 토목환경공학과 (Dept. of Civil and Environmental Eng. Gachon University, Seongnam-si, 13120, Korea)

2. 실험계획

2.1 실험변수 및 부재 형상

실험에서는 콘크리트 설계기준강도(f_{ck})는 24MPa로 고정하였으며, 실제 기초 구조물의 1/3의 상사율로 3개의 기초 부재를 제작하였다. 각 부재의 크기 및 철근배근도는 Figs. 1, 2에 나타내었으며, 실험변수는 Table 1에 나타내었다. 이러한 실험변수 선정 이유는 연결부를 연결한 후의 크기가 원래의 크기와 동일한 경우와 약간 증가되는 경우를 비교하기 위함이며, 현장에서 기존 콘크리트를 제거한 후, 노출된 철근의 겹침을 하는 경우와 기존 콘크리트에 천공 후 철근 앵커를 삽입하여 연결부를 시공하는 경우를 모사하기 위해서이다(David et al, 1992; Mete et al, 1990).

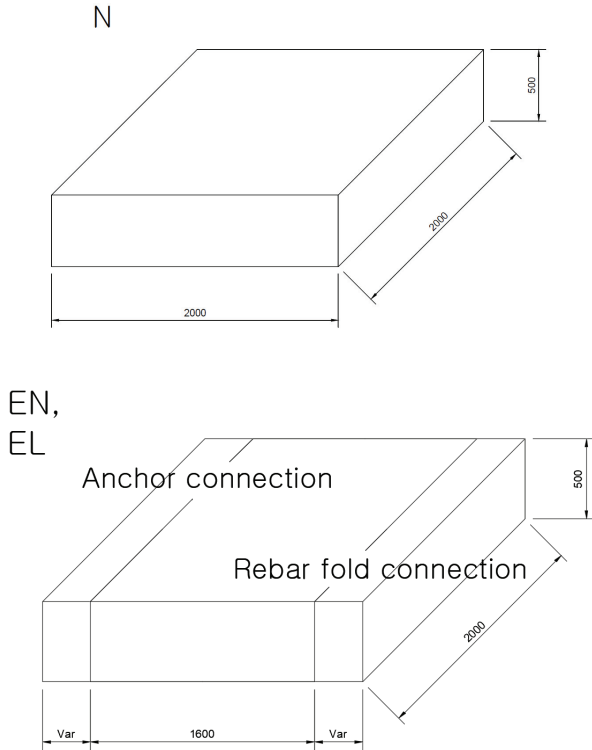


Fig. 1. Dimension of test members

Table 1. Test variables

ID	Dimension (m×m)	Left end	Right end
N	2.0×2.0	Fold connection (L=150mm)	Anchor (depth=100mm)
EN	1.6×2.0+2×0.2×2.0		
EL	1.6×2.0+2×0.4×2.0		

2.2 콘크리트 및 철근

실험 부재에 사용된 콘크리트의 배합은 Table 2에 나타내었으며, 콘크리트 압축강도 실험 결과는 약 26.1MPa로 나타났으며, 철근은 SD300을 사용하였다.

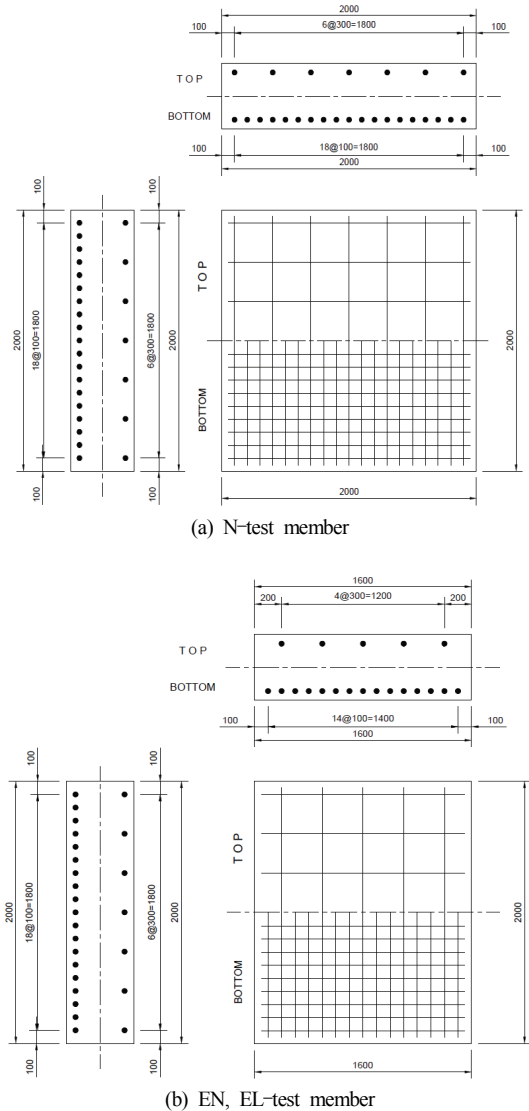


Fig. 2. Rebar details of test members

Table 2. Concrete mix proportion

W/C (%)	S/A (%)	Unit weight(kg/m ³)					
		W	C	S	G	AE	Slump
49.1	44.4	173	352	784	1,002	1.76	120mm

W=water, C=cement, S=sand, G: gravel, AE=air entraining and water reducing agent(%)

2.3 측정

실험 부재의 측정을 위하여 2,000kN의 자동 가력장비를 사용하였으며, 처짐을 측정하기 위한 LVDT는 부재 상면에 설치하였고, 확대된 부재들, 즉 EN, EL에는 좌측 겹이음부와 우측 앵커 이음부 끝단에 추가적으로 LVDT를 설치하였다. 철근 및 콘크리트용 변형률계이지는 N부재의 경우에 각각 8, 18개를 부착하였으며, EN 부재의 경우에는 각각 11, 28개, EL 부재의 경우에는 각각 11, 32개를 부착하였다. 또한 말뚝 지지를 모사하기 위하여 400mm 간격으로 소구경 말뚝과 유사한 지점을 설치하였다. 이러한 내용은 다음 Fig. 3~6에 나타내었다.

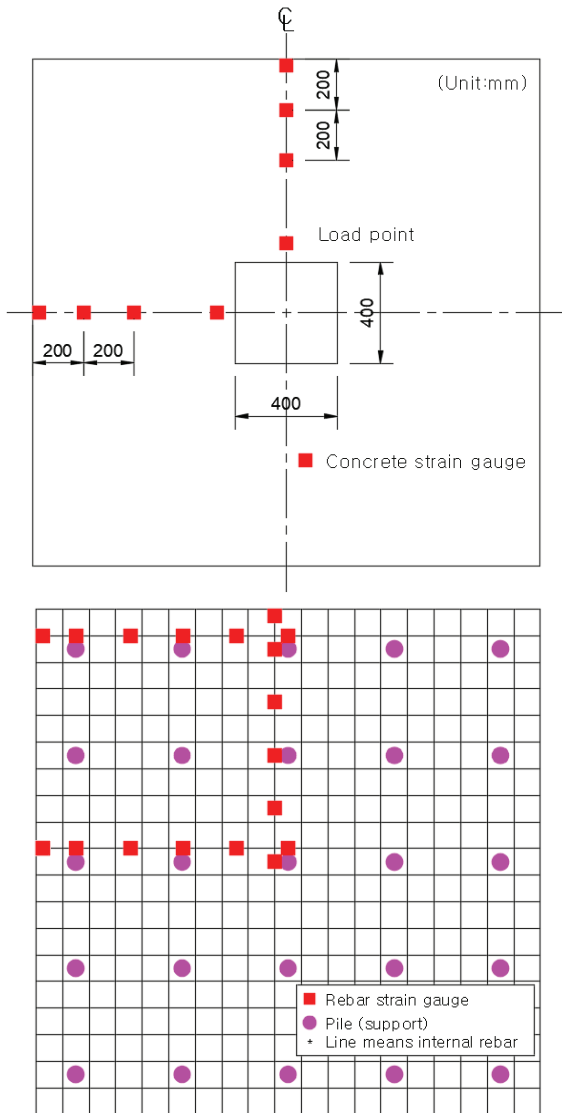


Fig. 3. Details of sensor and support of N-test member

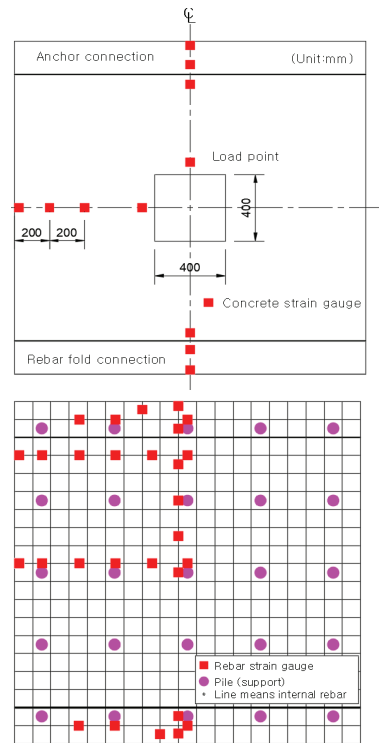


Fig. 4. Details of sensor and support of EN - test member

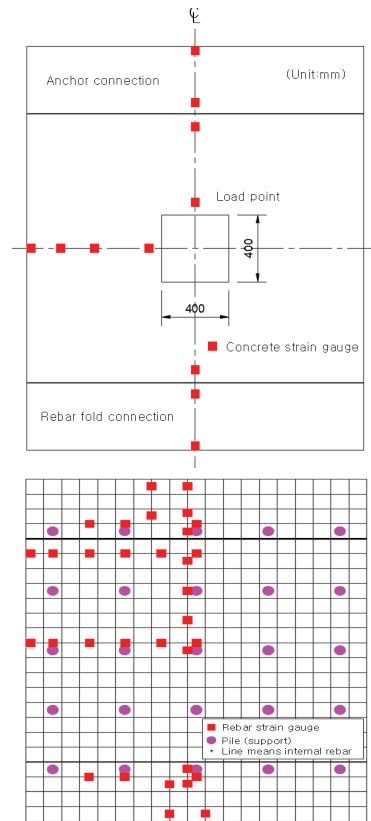


Fig. 5. Details of sensor and support of EL-test member



Fig. 6. Test set-up

Table 3. Crack, ultimate loads

ID	Crack load (kN)	Ultimate load (kN)	Failure pattern
2.0	499.78	941.07	Punching shear
1.6+2×0.2	463.82	930.28	
1.6+2×0.4	481.87	797.55	

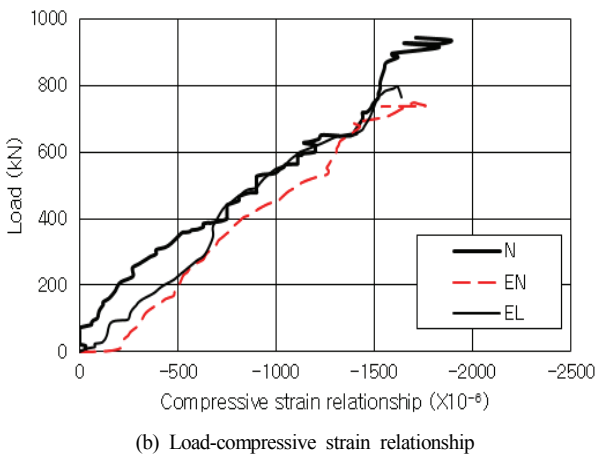
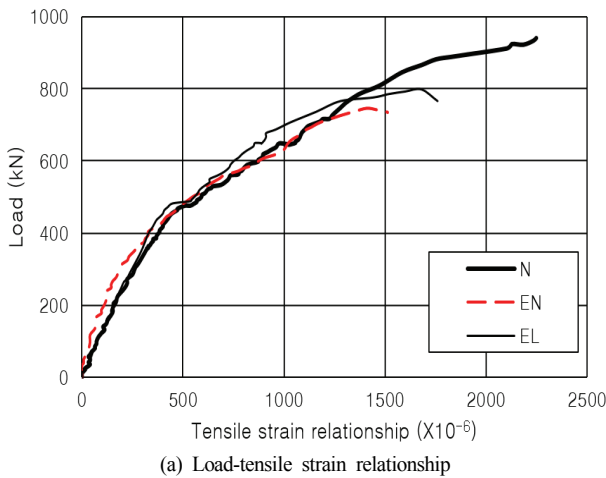


Fig. 7. Behavior at loading point

3. 실험 결과 및 분석

3.1 파괴하중 및 파괴 양상

모형실험에서 구해진 각 시험체들의 균열하중, 파괴하중 및 양상은 Table 3에 나타내었으며, 실험 결과, N 부재의 균열하중 및 극한하중이 가장 크게 나타났으며, 단면을 원래보다 확대시킨 EL 부재의 균열하중 및 파괴하중이 단면을 기준크기로 확대한 경우보다는 크게 나타났다. 또한 모든 부재의 파괴 양상은 집중하중에 의한 가력부 주위의 펀칭 전단 파괴로 나타났다.

균열하중, 파괴하중 및 파괴양상의 결과로 보면, 원 콘크리트 부재의 거동이 가장 구조적으로 유리하나, 파괴양상이 동일하며 그 결과 차이가 크지 않기 때문에 단면을 기준크기보다 약간 확대시킨 경우가(EL 부재) 구조적으로는 유사한 거동이 나타났다.

3.2 하중 가력부의 거동

모형 실험의 정확도를 파악하기 위하여 하중 가력부(모형 중앙부)에 설치한 철근 및 콘크리트 변형을 게이지로부터 측정된 값을 이용하여 하중-변형을 곡선을 구하여 다음 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7에서 알 수 있듯이 연결부와 상당히 거리가 떨어진 부재 중앙부의 거동은 3개의 시험체 모두 거의 유사하게 측정되었다. 따라서 이음방법 및 이음부 유무에 관계없이 시험체의 중앙부의 거동은 동일할 것으로 판단되며, 발생된 변형을 값들도 적정한 것으로 사료된다.

3.3 연결부의 하중-처짐관계

모형 실험 중 앵커 연결부와 겹이음 연결부 끝단에 설치한 LVDT를 이용하여 측정된 처짐을 Fig. 8, 9에 나타내었다.

실험의 정확도 부족으로 가력시험 중 하중이 약간 편차되어 작용한 것을 추정할 수 있는데 이는 연결부가 없는 부재 N의 처짐값 두 개가 서로 같아야 하는데 다소 차이를 보이고 있기 때문이다. 다만, 이러한 편차에도 불구하고 N 부재의 평균 최대 처짐은 약 1.2mm 정도로 나타났으나, 연결 이음된 부재들 즉 EN 부재는 평균 최대 처짐이 약 1.7mm, EL 부재의 경우 2.1mm 정도로 나타났다. 이러한 결과에서 볼 때 연결되지 않은 부재가 연결된 부재보다는 부재 끝단의 처짐이 더 작게 발생되며, 큰 크기로 연결된 부재의 처짐이 작게 연결된 부재의 처짐보다는 크게 나타나, 하중이 증가할수록 앵커 철근 또는 겹이음 철근의 미끌림 등의 현상이 발생할 가능성이 큰 것으로 추정된다.

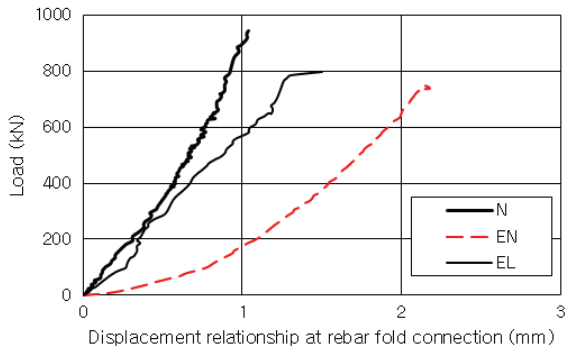


Fig. 8. Load-displacement relationship at rebar fold connection

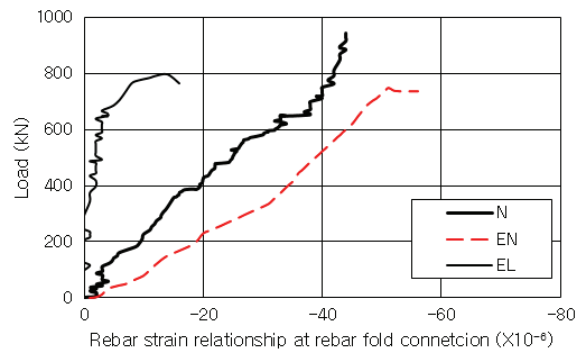


Fig. 10. Load-rebar strain relationship at rebar fold connection

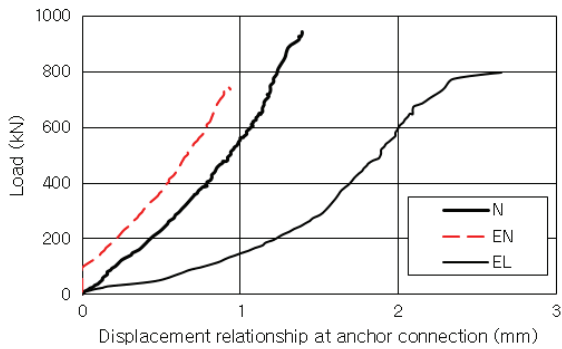


Fig. 9. Load-displacement relationship at anchor connection

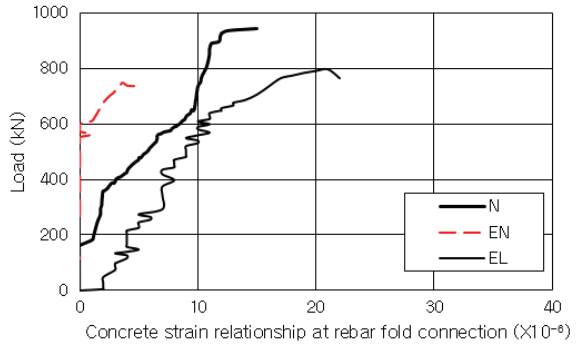


Fig. 11. Load-concrete strain relationship at rebar fold connection

또한, 작게 연결된 부재(EN)에서는 겹이음길이 부족으로 겹이음된 부위의 미끌림 현상이 더 크게 나타나며, 반대로 크게 연결된 부재(EL)에서는 상대적으로 겹이음 길이가 충분하여 앵커 철근의 미끌림 현상이 더 크게 나타남을 추론할 수 있다.

3.4 하중-이음부 변형률관계

앵커 연결부와 겹이음 연결부 철근 및 콘크리트에 설치한 변형률 게이지에서 측정된 변형률을 이용하여 하중-변형률 곡선을 구하여 Fig. 10~13에 나타내었다.

이음부의 변형률은 앞서 기술한 하중-처짐과의 관계와 유사한 결과를 나타내었다. 즉, 연결되지 않은 부재가 연결된 부재보다는 이음부의 부재 연결부의 평균 변형률이 더 작게 발생되며, 큰 크기로 연결된 부재의 변형률이 작게 연결된 부재의 변형률보다는 크게 나타나, 하중이 증가할수록 앵커 철근 또는 겹이음 철근의 미끌림 등의 현상이 발생할 가능성이 큰 것으로 추정된다.

또한, 앞서 기술한 바와 같은 겹이음된 부위의 큰 미끌림 현상으로 철근의 변형률이 작고 콘크리트의 변형률이 크게 나타났으며, 크게 연결된 부재에서는 역시 동일한 결과가 나타났다.

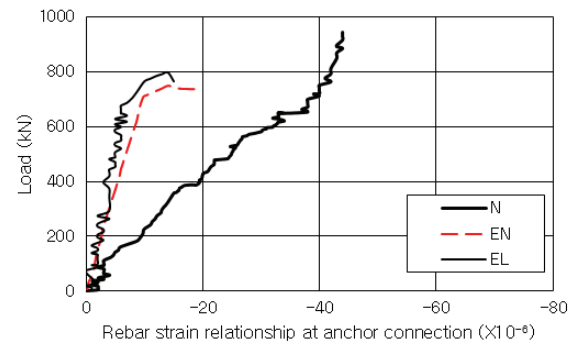


Fig. 12. Load-rebar strain relationship at anchor connection

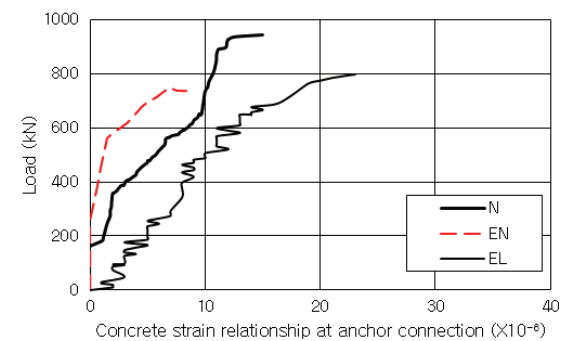


Fig. 13. Load-concrete strain relationship at anchor connection

4. 결론

일반적으로 소구경 말뚝을 이용한 기존교각의 확대보강을 시행하는 경우, 접합부의 일체성을 유지하기 위해 후 설치 앵커 중에서 이형철근을 사용한 부착식 앵커를 사용하고 있다. 그러나 부착식 앵커의 경우 접합재의 종류 등에 따라 성능이 크게 좌우됨에도 불구하고 기계식 앵커와는 달리 설계방법의 표준화와 함께 적절한 성능평가를 위한 표준적인 실험방법(ACI318 2012; ACI345 2015)도 제시되지 않고 있는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 모형실험을 실시하여 부착식 앵커의 성능에 대한 평가를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 균열하중, 파괴하중 및 파괴양상의 결과로 보면 원 콘크리트 부재의 거동이 가장 구조적으로 유리하나, 파괴양상이 동일하며 그 결과 차이가 크지 않기 때문에 단면을 기준크기보다 약간 확대시킨다면 구조적으로는 유사한 거동을 보임을 알 수 있었으며, 이음방법 및 이음부 유무에 관계없이 시험체의 중앙부의 거동은 동일할 것으로 판단되며, 발생된 변형률 값들도 적절한 것으로 사료된다.
2. 연결되지 않은 부재가 연결된 부재보다는 부재 끝단의 처짐이 더 작게 발생되며, 큰 크기로 연결된 부재의 처짐이 작게 연결된 부재의 처짐보다는 크게 나타나, 하중이 증가할수록 앵커 철근 또는 겹이음 철근의 미끌림 등의 현상이 발생할 가능성이 큰 것으로 추정된다.
3. 작게 연결된 부재에서는 겹이음길이 부족으로 겹이음된 부위의 미끌림 현상이 더 크게 나타나며, 반대로 크게 연결된 부재에서는 상대적으로 겹이음 길이가 충분하여 앵커 철근의 미끌림 현상이 더 크게 나타남을 추론할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 환경정책기반공공기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다(No.2016000700003).

References

- ACI committee 318. (2012). Building Code Requirement for Reinforced Concrete(318-12), ACI, Detroit.
- ACI committee 345. (2015). ACI Practice Manual 345.2R-15: Guide for Widening Highway Bridge, ACI, Detroit.
- Aziznamini, A., Stark, M., Roller, J.J., Ghosh, S.K. (1993). Bond performance of reinforcing bars embedded in high-strength concrete, *ACI Structural Journal*, **90(5)**, 554-561.
- Darwin, D., McCane, S.L., Idun, E.K., Schoenekase, S.P. (1992). Development length criteria: bars not confined by transverse reinforcement, *ACI Structural Journal*, **89(6)**, 709-720.
- Sozen, M.A., Moehle, J.P. (1990). Development and Lap-Splice Lengths for Deformed Reinforcing Bars in Concrete, University, IL and Berkely, CA.
- Oh, B.H., Kang, Y.J., Lee, S.L., Bang, G.S. (1990). An experimental study on the bond characteristics of reinforced concrete structures, *Korea Concrete Institute*, **2(4)**, 99-107 [in Korean].
- Orangon, C.O., Jirsa, J.O., Breen, J.E. (1977). Reevaluation of Test Data on Development Length and Splice, *ACI Journal, Proceedings*, **74(3)**, 114-122.
- Choi, O.C., Kim, C.H., Shin, Y.S., Hong, G.S. (1994). Performance tests of epoxy-coated reinforcing bars: mechanical properties, *Korea Concrete Institute*, **6(3)**, 173-179 [in Korean].

확대기초의 신구 콘크리트 접합 모형실험

일반적으로 소구경 말뚝을 이용한 기존교각의 확대보강을 시행하는 경우 접합부의 일체성을 유지하기 위해 후 설치 앵커 중에서 이형철근을 사용한 부착식 앵커를 사용한다. 그러나 부착식 앵커의 경우 접합재의 종류 등에 따라 성능이 크게 좌우됨에도 불구하고 기계식 앵커와는 달리 설계방법의 표준화와 함께 적절한 성능평가를 위한 표준적인 실험방법도 제시되지 않고 있는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 철근의 겹이음 및 앵커철근을 이용한 모형실험을 실시하여 부착식 앵커의 성능에 대한 평가를 수행하였다. 실험 결과, 접합하지 않은 시험체의 구조 성능이 가장 우수하게 나타났으며, 파괴양상은 편칭전단 파괴로 나타났다. 연결되지 않은 부재가 연결된 부재보다는 부재 끝단의 처짐이 더 작게 발생되며, 큰 크기로 연결된 부재의 처짐이 작게 연결된 부재의 처짐보다는 크게 나타나, 하중이 증가할수록 앵커 철근 또는 겹이음 철근의 미끌림 등의 현상이 발생할 가능성이 큰 것으로 나타났다.