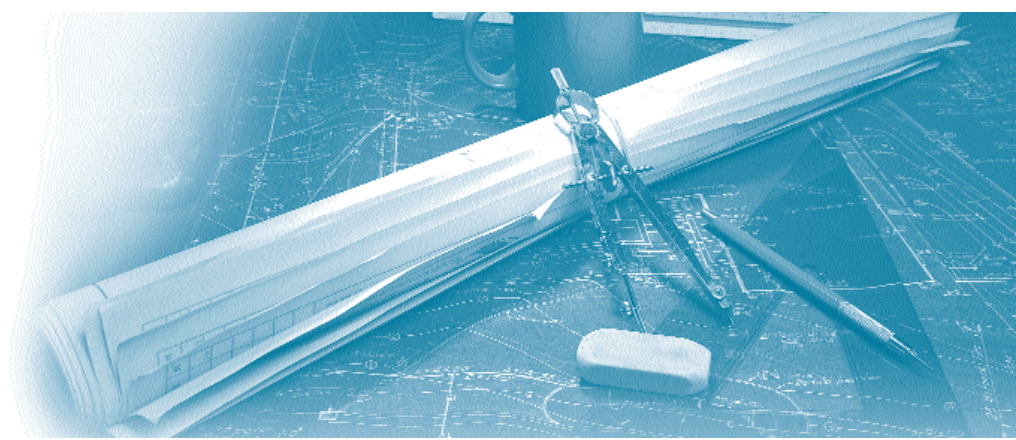


경제성을 고려한 옹벽기초 시공방법 개선

글 | 배민혁 토목기술사원 02-3433-7763 | widedream@ssyenc.com



1. 머리말

옹벽, 교량 등 지반이 지지하는 모든 토목구조물은 상부구조와 하부구조로 구성되어 각각의 목적에 맞게 시공된다. 특히, 흙막이 구조물인 옹벽의 하부구조 중 기초는 상부의 하중과 횡토압을 기초지반으로 힘을 안전하게 전달 되도록 하여야 한다.

옹벽구조물의 기초형식에는 얇은기초, 깊은기초로 나뉘며, 그 중 깊은 기초는 말뚝기초, 피어기초, 케이슨 기초가 있다. 이러한 각각의 기초를 결정하는 데 있어 설계자는 시공성, 경제성, 안전성, 유지관리 등 여러가지 사항들을 고려하여 설계를 한다. 그 중에서도 경제성이 중요한 평가의 항목으로 자리잡고 있으며, 경제적인 설계 및 시공을 위해 많은 노력을 하고 있다. 물론 이러한 경제성의 바탕에는 구조적인 안전성이 뒷받침 되어야 한다.

“OO 도로현장”의 경우 당초 설계된 옹벽의 기초가 강말뚝이었으나, 경제성 및 내구성을 고려하여 콘크리트 말뚝 중에서 PHC말뚝으로 변경하여 구조적 안전성을 검토하였다.

2. PHC말뚝

PHC(Pretensioned spun High strength Concrete) 말뚝은 콘크리트 압축강도가 800 kgf/cm² 이상인 콘크리트에 인장력을 받는데 적합한 재질인 철근 및 PC강선으로 보강하고 일정한 형틀에서 고속회전시켜 이때 발생하는 원심력에 의하여 배합중의 여분의 물을 제거하여 다진효과를 극대화 시킴으로서 만들어진 고강도 콘크리트 말뚝이다.

PHC 말뚝은 유효 프리스트레스에 따라 A, B, C종으로 나

뉘며, 각각 40 kgf/cm², 80kgf/cm², 100kgf/cm² 의 유효 프리스트레스가 도입되었다.

이러한 PHC말뚝의 특징은 다음과 같다.

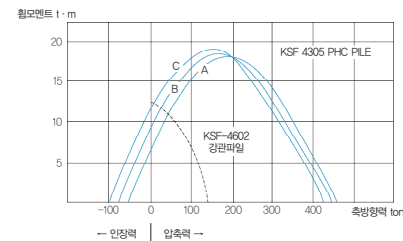
- 1) PC 말뚝보다 설계지지력을 크게 취할 수 있다.
- 2) 항타에 대한 저항력이 크다.
- 3) 휨모멘트에 대한 저항력이 크다
- 4) 경제적인 설계가 가능하다.
- 5) 크리프 및 건조수축이 현저하게 작다.
- 6) 내약품성이 뛰어나다.
- 7) Flat Shoe의 채용에 의한 관입성이 뛰어나다.
- 8) 흡수율이 극히 낮아 동파의 우려가 없다.
- 9) 1일 양생후 콘크리트의 압축강도가 발현되므로 단기간에 제품이 많이 출하될 수 있다.

3. PHC말뚝과 강말뚝과의 비교

파일내력은 일반적으로 중심축압 내력 또는 순 휨균열 모멘트 및 순휨파괴 모멘트로 평가 되지만 실제 시공에서는 축방향력 및 휨모멘트를 동시에 받는 것이 보통이다. 따라서 휨모멘트와 축방향력의 조합을 곡선으로 표시한 I.C(Interaction Curve)로 파일의 역학적내력을 평가하는 것이 좋다. 그림 1.은 PHC 파일과 강관말뚝의 상대비교를 위하여 허용지지력을 같게 하여 I.C를 그린 것이다. 강관 말뚝은 축력이 0에서 휨모멘트가 최대이고 축력이 커지면 휨모멘트는 감소하므로 축방향 하중작용시 파기에 대한 내력은 PHC 말뚝이 더 크다는 것을 알 수 있다. 또한 깊은 기초의 말뚝공법 중 강말뚝과 PHC 말뚝을 비교하여 표 1로 나타내었다.

표 1.에서 알 수 있듯이 강관말뚝의 시공보다 PHC 말뚝으로 시공을 하게 되면 강관말뚝과 같이 용접이음이 가능하고 말뚝의 심도가 깊은 경우에도 대체시공이 가능하여 원가절감이 가능함을 나타내고 있다.

[그림 1] 강말뚝과 PHC 말뚝의 비교



4. 현장 적용 사례

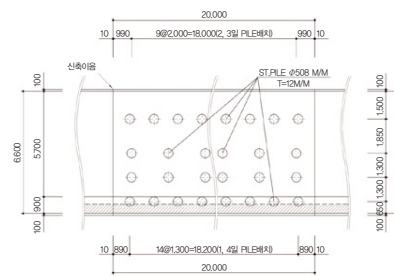
4.1 평면도 및 단면도

당초 강관말뚝으로 설계된 평면도와 PHC파일로 변경하여 설계된 평면도를 그림 2.에 나타내었고, 단면도는 그림 3.

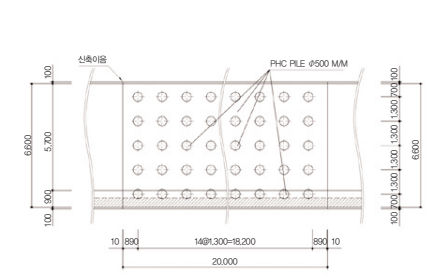
[표 1] 강말뚝과 PHC말뚝의 비교

항목	PHC 말뚝	강관 말뚝	비고
안정성	◎	△	◎ 좋음 ○ 보통 △ 나쁨
내부식성	◎	△	
내구성	◎	△	
수직하중 설계시	◎	○	
횡하중 설계시	○	◎	
재료비	◎	△	
시공비	○	◎	

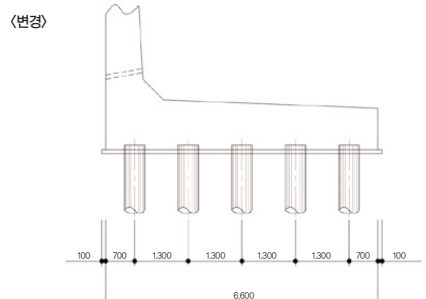
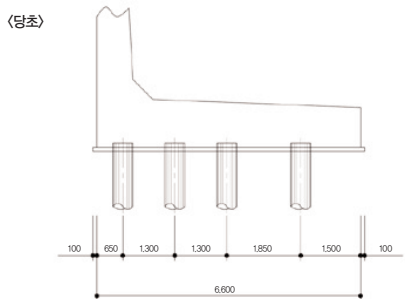
[그림 2] 평면도



<당초>



<변경>



[그림 3] 단면도

과 같이 4월이었으나 변경 후 5월로 배열하였다.

4.2 PHC 말뚝의 단면 특성

해석에 필요한 단면특성을 표 2.에 나타내었다.

[표 2] Ø500인 PHC말뚝의 단면특성

외경 D (mm)	두께 t (mm)	길이 L (m)	종류	유효프리스트레스 (kgf/cm ²)	콘크리트 단면적 A _c (cm ²)	콘크리트 환산 단면적 A _s (cm ²)	환산 2차 모멘트 I _s (cm ⁴)	환산 단면 계수 Z(cm ³)	허용 축방향 하중 (tonf)	단위 중량 W (kgf/m)
500	80	16.8	A	40	1,084	247,900	9,914	169	275	
			B	80	1,113	254,500	10,160	127		
			C	100	1,132	259,900	10,360	106		

* 콘크리트 설계기준강도 f_{ck} = 800 kgf/cm², 콘크리트의 탄성계수 E = 4.00×10⁵ kgf/cm²

4.3 말뚝기초에 작용하는 하중

말뚝기초에 작용하는 하중은 옹벽구조검토를 하여 저판 밑면 중심에서 재하되는 하중을 계산하여 구하였다. 옹벽의 기초가 하천가까이에 있어, 홍수위를 고려하였을 경우와, 고려하지 않았을 경우 두가지를 나누어 해석한후 최대값을 표 3.에 구하여 놓았다.

[표 3] 작용하중

구분	연직력 (tonf)	수평력 (tonf)	모멘트 (tf·m)	
홍수위	D + L + H	2,637.786	591.373	1,507.303
비고려	D + L + CO + H	2,637.786	611.373	1,708.903
홍수위	D + L + H + Q	2,370.950	732.937	2,178.578
고려	D + L + CO + H + Q	2,370.950	752.937	2,380.178

여기서, D : 고정하중, L : 활하중, H : 토압, CO : 충돌하중, Q : 부력 또는 양압력

4.4 말뚝의 설계 단면력

말뚝에 작용하는 연직력과 모멘트에의해 1열과 5열에 각

각 압축, 인장이 발생한다. 이러한 말뚝에 작용하는 하중을 입력값으로 하여 말뚝머리가 회전하지 않을 경우, 변위법을 사용하여 구한 말뚝의 최대 단면력을 표 4.에 나타내었다.

[표 4] 최대 단면력

구분	최대축력 (tonf)	최대전단력 (tonf)	최대모멘트 (tf·m)	
				1열
홍수위 비고려	D + L + H	53,754	7,885	6,658
	D + L + CO + H	16,587	8,152	6,884
홍수위 고려	D + L + H + Q	57,520	9,772	8,252
	D + L + CO + H + Q	59,543	10,039	8,478

여기서, D : 고정하중, L : 활하중, H : 토압, CO : 충돌하중, Q : 부력 또는 양압력

4.5 말뚝의 축방향 지지력 검토

(1) 지반에서 결정되는 말뚝의 허용지지력

지반에서 정하는 말뚝의 극한지지력 R_u는 아래식으로 추정한다.

$$R_u = q_d A_p + U \sum f_i$$

여기서, R_u : 지반에서 정하는 말뚝의 극한 지지력(tonf)

A : 말뚝 선단면적(m²)

q_d : 말뚝 선단에서 지지하는 단위면적당 극한 지지력도(tf/m²)

U : 말뚝의 둘레 길이(m)

f_i : 주면마찰력을 고려하는 층의 층두께(m)

f_i : 주면마찰력을 고려하는 층의 최대 주면마찰력 (tf/m²)

극한 선단 지지력 : 천공후 최종 타격공법

$$q_d = 25 N = 25 \times 50 = 1250 \text{ tf/m}^2$$

극한 주면 마찰력 : 안전측으로 무시

$$f_i = 0.0 \text{ tf/m}^2$$

지반에서 결정되는 말뚝의 극한지지력 :

$$R_u = q_d A_p + U \sum f_i = 1500 \times \left(\frac{\pi \times 0.5^2}{4} \right) + 0$$

$$= 245.44 \text{ tonf / 본}$$

지반에서 결정되는 말뚝의 허용지지력 :

$$R_a = \frac{R_u}{3} = \frac{245.44}{3} = 81.81 \text{ tonf / 본}$$

(2) 말뚝 본체에서 결정되는 PHC 말뚝의 허용지지력

A종 : R_a = 169.0 tonf/본

B종 : R_a = 127.0 tonf/본

C종 : R_a = 106.0 tonf/본

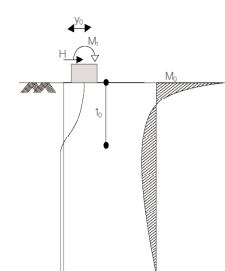
(3) 말뚝의 축방향 지지력검토

A, B, C 종 : R_a = 81.81 tonf/본 >

$$R_{max} = 59,543 \text{ tonf/본}$$

O.K

4.6 말뚝의 수평변위에 대한 검토



[그림 4] 말뚝의 변위형상

말뚝의 수평방향 허용변위량은 상,하부 구조의 조건에 따라 다르지만 보통 말뚝 지름의 1%로 하는 데, 말뚝 지름이 1.5m이하인 경우는 1.5cm로 제한하고 있다.

변위법으로부터 구한 말뚝의 최대 수평변위는 그림

4와 같이 말뚝상단이 기초부와 결합하여 회전각은 생기지 않지만, 모멘트는 발생 할 경우의 최대값을 표 5.에 정리하였다.

[표 5] 최대 수평변위

구분	최대 수평변위 delta (cm)	허용 수평변위 delta_a (cm)	비 고	
				D + L + H
홍수위 비고려	D + L + H	0.154	1.5	O.K
	D + L + CO + H	0.159	1.5	O.K
홍수위 고려	D + L + H + Q	0.191	1.5	O.K
	D + L + CO + H + Q	0.196	1.5	O.K

4.7 말뚝내력에 대한 안정검토

(1) 허용 응력

- 이음에 의한 허용응력 감소율 (10m 마다 1개소)
타입말뚝 1개소당 5% 감소, 내부굴착말뚝 1개소당 2.5% 감소

말뚝길이가 16.8 m 이므로 이음 1 개소 : mu₁ = 5.0 %

- 장경비(L/d)에 의한 허용응력 감소율

말뚝은 장경비(L/d)에 의해 지지하중이 감소한다.

특히 긴 말뚝은 연직으로 세우기 어려워 편심되던가 휨이 일어날 가능성이 많다. 따라서 장경비가 큰 말뚝은 허용응력을 감소시켜 적용한다.

$$\mu_2 = \left[\frac{L}{d} - n \right]$$

여기서, mu₂ : 장경비에 의한 말뚝의 허용응력 감소율(%)

$$\frac{L}{d} : \text{장경비}$$

n : 허용응력을 감소시키지 않아도 되는 장경비의 상한값(표 6.)

[표 6] 장경비에 의한 허용응력 감소의 한계치

말뚝 종류	n	장경비의 상한계
PHC 말뚝	85	110

$$\mu_2 = \left[\frac{L}{d} - n \right] = \left[\frac{16.8}{0.5} - 85 \right] = -51.4$$

따라서, 장경비가 작아서 허용응력을 감소시키지 않는다.

PHC 말뚝의 허용응력을 표 7. 에 나타내었다.

$$\therefore \text{감소율} (\mu) = \mu_1 + \mu_2 = 5.00 \%$$

[표 7] 허용응력

PHC 말뚝	설계기준강도	허용 휨입축응력	허용 축입축응력	허용 휨인장응력	허용전단응력
감소 전	800 kgf/cm ²	280 kgf/cm ²	200 kgf/cm ²	0 kgf/cm ²	12 kgf/cm ²
감소 후	800 kgf/cm ²	266 kgf/cm ²	190 kgf/cm ²	0 kgf/cm ²	11.4 kgf/cm ²

(2) 말뚝의 응력검토

말뚝의 응력검토에서는 변위법으로 구한 하중조합별 결과 값을 검토해야 하나, 압축력이 큰 제 1열의 경우 홍수위 고려

