

$$\text{tonf} := 1000\text{kgf}$$

$$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

# 교량용 방호울타리 구조 계산서

**2012.6.20**

교량명 :

보강방법 :

## 1. 설계 기준

### 1.1 방호벽 형식

- |           |                        |
|-----------|------------------------|
| 1) 구조 형식  | 교량용 차량 방호 울타리          |
| 2) 방호벽 형식 | 보완 형식 - 1              |
| 3) 방호벽 높이 | $H := 1.050\text{m}$   |
| 4) 충돌 높이  | $H_c := 1.000\text{m}$ |

## 1.2 하중

### 1) 고정하중

$$W_{c1} := 2.500 \cdot \text{tonf m}^{-3}$$

철근 콘크리트  
단위 중량

$$W_{C2} := 2.350 \cdot \text{tonf m}^{-3}$$

무근 콘크리트  
단위 중량

$$W_a := 2.300 \cdot \text{tonf m}^{-3}$$

ASCON  
단위중량

### 2) 충돌 하중

#### (1) 도로안전시설 설치 및 관리지침 (건설교통부 2001.7)

|                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| SB5                              | 종 별           |
| 14tonf                           | 차량중량 (tonf)   |
| 80 $\frac{\text{km}}{\text{hr}}$ | 충돌 속도 (km/hr) |
| 15deg                            | 충돌 각도 (도)     |
| 420J                             | 충격도 (J)       |

#### (2) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications

|         |  |
|---------|--|
| TL - 4  | Railing Test Level                     |
| 240000N | Transverse (N)                         |
| 80000N  | Longitudinal (N)                       |
| 80000N  | Vertical (N)                           |
| 1070mm  | L <sub>t</sub> and L <sub>L</sub> (mm) |

### 3) 사용재료

#### (1) 기존 방호벽

$$f_{ck,old} := 240 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 23.536 \times \text{MPa} \quad \begin{array}{l} \text{기존 방호벽} \\ \text{콘크리트 설계기준 강도} \end{array}$$

$$E_{c,old} := 238000 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 23339.827 \times \text{MPa} \quad \begin{array}{l} \text{기존 방호벽} \\ \text{콘크리트 탄성계수} \end{array}$$

$$f_{y,old} := 3000 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 294.2 \times \text{MPa} \quad \begin{array}{l} \text{기존 방호벽} \\ \text{철근 항복 강도} \end{array}$$

$$E_{s,old} := 2000000 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 196133 \times \text{MPa} \quad \begin{array}{l} \text{기존 방호벽} \\ \text{철근 탄성계수} \end{array}$$

#### (2) 보완 방호벽 (추가분)

$$f_{ck,new} := 240 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$E_{c,new} := 238000 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 23339.827 \times \text{MPa}$$

$$f_{y,new} := 3000 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$E_{s,new} := 2000000 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 196133 \times \text{MPa}$$

#### (3) 슬래브

$$f_{ck,slab} := 270 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 26.478 \times \text{MPa}$$

$$E_{c,slab} := 253000 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 24810.824 \times \text{MPa}$$

$$f_{y,slab} := 4000 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 392.266 \times \text{MPa}$$

$$E_{s,slab} := 2000000 \cdot \text{kgf cm}^{-2} = 196133 \times \text{MPa}$$

#### (4) 철근 단면적

$$D10 := 0.7133 \cdot \text{cm}^2$$

$$D13 := 1.267 \cdot \text{cm}^2$$

$$D16 := 1.986 \cdot \text{cm}^2$$

$$D19 := 2.865 \cdot \text{cm}^2$$

$$D22 := 3.871 \cdot \text{cm}^2$$

### 1.3 참고문헌

## 2. 가정 단면

【 기존 단면 제원 】

【 보완 단면 제원 】

【 Segment 1 】

【 기존 방호벽 제원 】

$$H_{\text{seg1}} := 700\text{mm}$$

$$B_{\text{seg1}} := 1000\text{mm}$$

【 기존 방호벽 철근 제원 】

$$d_{v11} := 132\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{기존 방호벽} \\ \text{수평철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$d_{h11} := 143\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{기존 방호벽} \\ \text{연직철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$n_{\text{bar},11} := 3$$

$$D_{11} := D13$$

$$n_{\text{bar},h11} := \frac{1000}{200} = 5$$

$$D_{h11} := D16$$

【 보완 방호벽 철근 제원 】

$$d_{v12} := 194\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{보완 방호벽} \\ \text{수평철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$d_{h12} := 218\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{보완 방호벽} \\ \text{연직철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$n_{\text{bar},12} := 3$$

$$D_{12} := D13$$

$$n_{\text{bar},h12} := \frac{1000}{200} = 5$$

$$D_{h12} := D13$$



## 【 Segment 2 】

### 【 기존 방호벽 제원 】

$$H_{\text{seg2}} := 175\text{mm}$$

$$B_{\text{seg2}} := 1000\text{mm}$$

### 【 기존 방호벽 철근 제원 】

$$d_{v21} := 0\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{기존 방호벽} \\ \text{수평철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$d_{h21} := 214\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{기존 방호벽} \\ \text{연직철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$n_{\text{bar},21} := 0$$

$$D_{21} := D13$$

$$n_{\text{bar},h21} := \frac{1000}{200} = 5$$

$$D_{h21} := D13$$

### 【 보완 방호벽 철근 제원 】

$$d_{v22} := 238\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{보완 방호벽} \\ \text{수평철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$d_{h22} := 307\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{보완 방호벽} \\ \text{연직철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$n_{\text{bar},22} := 1$$

$$D_{22} := D13$$

$$n_{\text{bar},h22} := \frac{1000}{200} = 5$$

$$D_{h22} := D13$$

### 【 Segment 3 】

#### 【 기존 방호벽 제원 】

$$H_{\text{seg3}} := 175\text{mm}$$

$$B_{\text{seg3}} := 1000\text{mm}$$

#### 【 기존 방호벽 철근 제원 】

$$d_{v31} := 319\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{기존 방호벽} \\ \text{수평철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$d_{h31} := 318\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{기존 방호벽} \\ \text{연직철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$n_{\text{bar},31} := 1$$

$$D_{31} := D13$$

$$n_{\text{bar},h31} := \frac{1000}{200} = 5$$

$$D_{h31} := D13$$

#### 【 보완 방호벽 철근 제원 】

$$d_{v32} := 346\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{보완 방호벽} \\ \text{수평철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$d_{h32} := 370\text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{보완 방호벽} \\ \text{연직철근} \\ \text{유효깊이} \end{array}$$

$$n_{\text{bar},32} := 1$$

$$D_{32} := D13$$

$$n_{\text{bar},h32} := 0$$

$$D_{h32} := D13$$

### 3. 충돌 시 최대 충격력

#### 3.1 Olsen Model ( NCHRP Report 86 )

##### 【 설계 입력 변수값 】

|          |                                  |  |
|----------|----------------------------------|--|
| A        | 차량 앞면으로부터<br>차량의 무게<br>중심 까지의 거리 | $A := 14.2 \cdot \text{ft} = 4.328 \text{ m}$                                    |
| B        | 차량의 폭                            | $B := 8 \cdot \text{ft} = 2.438 \text{ m}$                                       |
| $\Theta$ | 충돌각                              | $\Theta := 15 \cdot \text{deg} = 0.262 \times \text{rad}$                        |
| D        | 방호울타리의<br>횡방향 변위                 | $D := 0.0 \cdot \text{mm}$   |
| $V_o$    | 충돌전 차량의 속도                       | $V_o := 80 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} = 22.222 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ |

##### 1) 감가속도

$$\text{avg}G_{\text{lat}} := \frac{V_o^2 \times \sin(\Theta)^2}{2 \times g \times [A \times \sin(\Theta) - 0.5 \times B \times (1 - \cos(\Theta)) + D]} = 1.564$$

$$\text{max}G_{\text{lat}} := \frac{\pi}{2} \times \text{avg}G_{\text{lat}} = 2.456$$

##### 2) 횡방향 충격력

$$W := 14 \text{ tonf} \quad \text{차량의 중량}$$

$$\text{max}F_{\text{lat}} := \text{max}G_{\text{lat}} \times W = 34.386 \times \text{tonf}$$

| 종별  | 차량 중량 (tonf) |
|-----|--------------|
| SB5 | 14tonf       |
| SB6 | 25tonf       |
| SB7 | 36tonf       |

### 3.2 AASHTO LRFD Bridge Design Specifications

1) 적용기준

TL - 4

2) 횡방향 충격력

$\max F_{\text{AASHTO}} := 240000\text{N} = 24.473 \times \text{tonf}$

| 종 별 |      | 충격력     |
|-----|------|---------|
| SB5 | TL-4 | 240000N |
| SB6 | TL-5 | 550000N |

## 4. 방호벽 전체 저항력 검토

### 【 설계 변수 】

|       |   |
|-------|---|
| $H$   | 방호울타리<br>높이   |
| $L_c$ | 방호울타리의<br>파괴길이                                      |
| $L_t$ | 충돌하중의<br>재하길이                                       |
| $M_b$ | 연직축에 대한<br>보 거동을 하는<br>방호울타리<br>상단의 저항모멘트           |
| $M_w$ | 연직축에 대한<br>방호울타리 벽체의<br>단위 높이당 저항모멘트                |
| $M_c$ | 방호울타리의<br>바닥판을 지점으로 한<br>캐틸레버 거동에 의한<br>단위길이당 저항모멘트 |

#### 4.1 연직축에 대한 BEAM의 Moment강도 (Mb)

가정한 방호벽 상단에 Beam 구간이 없으므로 Mb=0으로 된다.

$$M_b := 0.000 \cdot \text{tonf m}$$

## 4.2 연직축에 대한 WALL의 Moment강도 ( $M_w \times H$ )

### 1.1) 기존 방호벽 Segment1 의 정부모멘트 강도

#### 【 설계 입력 변수값 】

|   |                |
|---|----------------|
| $f_y := f_{y,old} = 294.2 \times \text{MPa}$      | 철근의 항복강도       |
| $f_{ck} := f_{ck,old} = 23.536 \times \text{MPa}$ | 콘크리트 설계 기준강도   |
| $\phi := 1.0$                                     | 강도감소 계수        |
| $b := H_{seg1} = 70 \times \text{cm}$             | 단면의 폭          |
| $d_v := d_{v11} = 13.2 \times \text{cm}$          | 단면의 유효깊이       |
| $n_{bar} := n_{bar,11} = 3$                       | 철근 배근 갯수       |
| $D := D_{11} = 1.267 \times \text{cm}^2$          | 철근 규격 및 개당 단면적 |

#### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{bar} = 3.801 \times \text{cm}^2 \quad \text{사용 철근 단면적}$$
$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 0.799 \times \text{cm} \quad \text{단면의 응력 직사각형의 깊이 계수}$$
$$\phi M_{n11} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d_v - \frac{a}{2} \right) = 145966.785 \times \text{kgf cm}$$

$$\phi M_{n11} = 1.46 \times \text{tonf m}$$



## 1.2) 보완 방호벽 (추가분) Segment1의 정.부모멘트 강도

### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_y := f_{y.new} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$f_{ck} := f_{ck.new} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$\phi := 1.0$$

$$b := H_{seg1} = 70 \times \text{cm}$$

$$d_v := d_{v12} = 19.4 \times \text{cm}$$

$$n_{bar} := n_{bar.12} = 3$$

$$D := D_{12} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{bar} = 3.801 \times \text{cm}^2$$

$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 0.799 \times \text{cm}$$

$$Mn_{12} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d_v - \frac{a}{2} \right) = 216665.385 \times \text{kgf cm}$$

## 2.1 ) 기존 방호벽 Segment2의 정.부모멘트 강도

### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_y := f_{y,old} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$f_{ck} := f_{ck,old} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$\phi := 1.0$$

$$b := H_{seg2} = 17.5 \times \text{cm}$$

$$d_v := d_{v21} = 0 \times \text{cm}$$

$$n_{bar} := n_{bar,21} = 0$$

$$D := D_{21} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{bar} = 0 \times \text{cm}^2$$

$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 0 \times \text{cm}$$

$$Mn_{21} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d_v - \frac{a}{2} \right) = 0 \times \text{kgf} \times \text{cm}$$

## 2.2 ) 보완 방호벽 Segment2의 정.부모멘트 강도

### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_y := f_{y.new} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$f_{ck} := f_{ck.new} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$\phi := 1.0$$

$$b := H_{seg2} = 17.5 \times \text{cm}$$

$$d_v := d_{v22} = 23.8 \times \text{cm}$$

$$n_{bar} := n_{bar,22} = 1$$

$$D := D_{22} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{bar} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 1.065 \times \text{cm}$$

$$Mn_{22} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d_v - \frac{a}{2} \right) = 88440.326 \times \text{kgf cm}$$

### 3.1 ) 기존 방호벽 Segment3의 정.부모멘트 강도

#### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_y := f_{y,old} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$f_{ck} := f_{ck,old} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$\phi := 1.0$$

$$b := H_{\text{seg}3} = 17.5 \times \text{cm}$$

$$d_v := d_{v31} = 31.9 \times \text{cm}$$

$$n_{\text{bar}} := n_{\text{bar},31} = 1$$

$$D := D_{31} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

#### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{\text{bar}} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 1.065 \times \text{cm}$$

$$Mn_{31} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d_v - \frac{a}{2} \right) = 119228.426 \times \text{kgf cm}$$

### 3.2 ) 보완 방호벽 Segment3의 정.부모멘트 강도

#### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_y := f_{y.new} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$f_{ck} := f_{ck.new} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$\phi := 1.0$$

$$b := H_{seg3} = 17.5 \times \text{cm}$$

$$d_v := d_{v32} = 34.6 \times \text{cm}$$

$$n_{bar} := n_{bar,32} = 1$$

$$D := D_{32} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

#### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{bar} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 1.065 \times \text{cm}$$

$$Mn_{32} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d_v - \frac{a}{2} \right) = 129491.126 \times \text{kgf cm}$$

#### 4) 전체 모멘트

$$M_{n_{11}} = 1.46 \times \text{tonf m}$$

$$M_{n_{12}} = 2.167 \times \text{tonf m}$$

$$M_{n_{21}} = 0 \times \text{tonf m}$$

$$M_{n_{22}} = 0.884 \times \text{tonf m}$$

$$M_{n_{31}} = 1.192 \times \text{tonf m}$$

$$M_{n_{32}} = 1.295 \times \text{tonf m}$$

$$M_w := M_{n_{11}} + M_{n_{12}} + M_{n_{21}} + M_{n_{22}} + M_{n_{31}} + M_{n_{32}} = 6.998 \times \text{tonf m}$$

$$H \times M_w := M_w = 6.998 \times \text{tonf m}$$

#### 4.3 수평축에 대한 WALL의 Moment강도 ( $M_c$ )

### 1.1) 기존 방호벽 Segment1의 모멘트 강도

#### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_y := f_{y,old} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$f_{ck} := f_{ck,old} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$\phi := 1.0$$

$$b := B_{seg1} = 100 \times \text{cm}$$

$$d := d_{h11} = 14.3 \times \text{cm}$$

$$n_{bar} := n_{bar,h11} = 5$$

$$D := D_{h11} = 1.986 \times \text{cm}^2$$

#### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{bar} = 9.93 \times \text{cm}^2$$

$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 1.46 \times \text{cm}$$

$$M_{c11} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) = 404245.919 \times \text{kgf cm}$$

$$M_{c11} = 4.042 \times \text{tonf m}$$



## 1.2) 보완 방호벽 (추가분) Segment1의 모멘트 강도

### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_y := f_{y.new} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$f_{ck} := f_{ck.new} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$\phi := 1.0$$

$$b := B_{seg1} = 100 \times \text{cm}$$

$$d := d_{h12} = 21.8 \times \text{cm}$$

$$n_{bar} := n_{bar.h12} = 5$$

$$D := D_{h12} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{bar} = 6.335 \times \text{cm}^2$$

$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 0.932 \times \text{cm}$$

$$\phi M_{c12} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) = 405456.303 \times \text{kgf cm}$$

$$\phi M_{c12} = 4.055 \times \text{tonf m}$$

## 2.1) 기존 방호벽 Segment2의 모멘트 강도

### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_y := f_{y,old} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$f_{ck} := f_{ck,old} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$\phi := 1.0$$

$$b := B_{seg2} = 100 \times \text{cm}$$

$$d := d_{h21} = 21.4 \times \text{cm}$$

$$n_{bar} := n_{bar,h21} = 5$$

$$D := D_{h21} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{bar} = 6.335 \times \text{cm}^2$$

$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 0.932 \times \text{cm}$$

$$M_{c_{21}} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) = 397854.303 \times \text{kgf cm}$$

$$M_{c_{21}} = 3.979 \times \text{tonf m}$$

## 2.2) 보완 방호벽 (추가분) Segment2의 모멘트 강도

### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_y := f_{y.new} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$f_{ck} := f_{ck.new} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$\phi := 1.0$$

$$b := B_{seg2} = 100 \times \text{cm}$$

$$d := d_{h22} = 30.7 \times \text{cm}$$

$$n_{bar} := n_{bar.h22} = 5$$

$$D := D_{h22} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{bar} = 6.335 \times \text{cm}^2$$

$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 0.932 \times \text{cm}$$

$$\Phi M_{c22} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) = 574600.803 \times \text{kgf cm}$$

$$\Phi M_{c22} = 5.746 \times \text{tonf m}$$

### 3.1) 기존 방호벽 Segment3의 모멘트 강도

#### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_y := f_{y,old} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$f_{ck} := f_{ck,old} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$\phi := 1.0$$

$$b := B_{seg3} = 100 \times \text{cm}$$

$$d := d_{h31} = 31.8 \times \text{cm}$$

$$n_{bar} := n_{bar,h31} = 5$$

$$D := D_{h31} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

#### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{bar} = 6.335 \times \text{cm}^2$$

$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 0.932 \times \text{cm}$$

$$M_{c31} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) = 595506.303 \times \text{kgf cm}$$

$$M_{c31} = 5.955 \times \text{tonf m}$$

### 3.2) 보완 방호벽 (추가분) Segment3의 모멘트 강도

#### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_y := f_{y.new} = 294.2 \times \text{MPa}$$

$$f_{ck} := f_{ck.new} = 23.536 \times \text{MPa}$$

$$\phi := 1.0$$

$$b := B_{seg3} = 100 \times \text{cm}$$

$$d := d_{h32} = 37 \times \text{cm}$$

$$n_{bar} := n_{bar.h32} = 0$$

$$D := D_{h32} = 1.267 \times \text{cm}^2$$

#### 【 계산 】

$$A_s := D \times n_{bar} = 0 \times \text{cm}^2$$

$$a := \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{ck} \times b} = 0 \times \text{cm}$$

$$M_{c32} := \phi \times A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) = 0 \times \text{kgf cm}$$

$$M_{c32} = 0 \times \text{tonf m}$$

#### 4) 전체 모멘트

$$M_{c_{11}} = 4.042 \times \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_{c_{12}} = 4.055 \times \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_{c_{21}} = 3.979 \times \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_{c_{22}} = 5.746 \times \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_{c_{31}} = 5.955 \times \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_{c_{32}} = 0 \times \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$L_1 := H_{\text{seg1}} = 70 \times \text{cm}$$

$$L_2 := H_{\text{seg2}} = 17.5 \times \text{cm}$$

$$L_3 := H_{\text{seg3}} = 17.5 \times \text{cm}$$

$$M_c := \frac{(M_{c_{11}} + M_{c_{12}}) \times L_1 + (M_{c_{21}} + M_{c_{22}}) \times L_2 + (M_{c_{31}} + M_{c_{32}}) \times L_3}{L_1 + L_2 + L_3} = 8.011 \times \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_c := M_c \times \frac{1}{\text{m}} = 8.011 \times \text{tonf} \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

## 4.4 Critical Length Yield Line Pattern ( $L_c$ )

### 【 설계 입력 변수값 】

|   |   |
|---|---|
| $L_t := 1.070\text{m}$  | 충돌하중의<br>재하길이                                       |
| $H := 1.05\text{m}$   | 방호울타리<br>높이   |
| $M_b = 0 \times \text{tonf m}$  | 보 거동을 하는<br>방호울타리 상단의<br>저항모멘트                      |
| $M_w$   | 방호울타리 벽체의<br>단위 높이당 저항모멘트                           |
| $(H \times M_w) = 6.998 \times \text{tonf m}$                         |   |
| $M_c = 8.011 \times \frac{\text{tonf m}}{\text{m}}$                   | 방호울타리의<br>바닥판을 지점으로 한<br>캔틸레버 거동에 의한<br>단위길이당 저항모멘트 |
| $(H \times M_w) \times 2 = 13.996 \times \text{tonf} \times \text{m}$ |   |

### 【 계산 】

|       |                |
|-------|----------------|
| $L_c$ | 방호울타리의<br>파괴길이 |
|-------|----------------|

$$L_c := \frac{L_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{L_t}{2}\right)^2 + \frac{8 \times H \times [M_b + (H \times M_w)]}{M_c}} = 3.296 \text{ m}$$

$$L_c = 3.296 \text{ m}$$

## 4.5 Nominal Resistance to Transverse Load ( $R_w$ )

### 【 설계 입력 변수값 】

|   |   |
|---|---|
| $L_t = 1.07 \text{ m}$                                | 충돌하중의<br>재하길이                                       |
| $L_c = 3.296 \text{ m}$                               | 방호울타리의<br>파괴길이                                      |
| $M_b = 0 \times \text{tonf m}$                        | 보 거동을 하는<br>방호울타리 상단의<br>저항모멘트                      |
| $M_w = 6.998 \times \text{tonf m}$                    | 방호울타리 벽체의<br>단위 높이당 저항모멘트                           |
| $M_c = 8.011 \frac{1}{\text{m}} \times \text{tonf m}$ | 방호울타리의<br>바닥판을 지점으로 한<br>캔틸레버 거동에 의한<br>단위길이당 저항모멘트 |

### 【 계산 】

$$R_w := \left( \frac{2}{2 \times L_c - L_t} \right) \times \left[ 8 \times M_b + 8 \times (H \times M_w) + \frac{M_c \times L_c^2}{H} \right] = 50.297 \times \text{tonf}$$

$$R_w = 50.297 \times \text{tonf}$$

### 1) 우리 기준과 비교

$$\max F_{\text{lat}} = 34.386 \times \text{tonf}$$

$$R_{w,\text{OlsenModel.check}} := \begin{cases} \text{"O.K"} & \text{if } R_w > \max F_{\text{lat}} \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"O.K"}$$

### 2) AASHTO (LRFD) 기준과 비교

$$\max F_{\text{AASHTO}} = 24.473 \times \text{tonf}$$

$$R_{w,\text{AASHTO.check}} := \begin{cases} \text{"O.K"} & \text{if } R_w > \max F_{\text{AASHTO}} \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"O.K"}$$



#### 4.6 Shear Transfer Between Barrier and Deck

### 접촉면에서의 전단력 전달

1. 이미 발생했거나 발생할 균열
2. 서로 다른 재료사이의 접촉면
3. 서로 다른 시기에 타설된 콘크리트의 접촉면

접촉면에서의 공칭 전단강도

$$\mathbf{V}_n = \mathbf{c} \times \mathbf{A}_{cv} + \mu \times (\mathbf{A}_{vf} \times \sigma_y + \mathbf{Pc})$$

|            |  |         |                      |
|------------|--|---------|----------------------|
| $V_n$      | 접촉면에서의<br>공칭전단강도                                       |         |                      |
| $c$        | 점착계수   |         |                      |
| $\mu$      | 마찰계수   | $c$     | $\mu$                |
|            | 1) 일체로 타설한 콘크리트  | 1.0MPa  | $1.4 \times \lambda$ |
|            | 2) 표면을 의도적으로 6mm 크기의 요철로 거칠게 한 깨끗하고 굳은 콘크리트에 타설한 콘크리트  | 0.70MPa | $1.0 \times \lambda$ |
|            | 3) 표면이 깨끗하고 레이어턴스가 없으나, 의도적으로 요철을 두지 않은 콘크리트에 타설한 콘크리트 | 0.52MPa | $0.6 \times \lambda$ |
|            | 4) 구조용 강재에 스티드 또는 전단 연결철근으로 정착된 콘크리트                   | 0.17MPa | $0.7 \times \lambda$ |
| $A_{cv}$   | 전단력을 전달하는 콘크리트의 면적                                     |         |                      |
| $A_{vf}$   | 전단면을 가로지르는 전단철근의 단면적                                   |         |                      |
| $\sigma_y$ | 전단철근의 항복강도   |         |                      |
| $P_c$      | 전단면에 수직인 영구 수압력<br>만약 작용하는 힘이 인장력이면 $P_c = 0$          |         |                      |

1 ) 충돌에 의한 방호벽의 전단력 (AASHTO (LRFD) p.A13-11 참조 )

【 설계 입력 변수값 】

$$R_w = 50.297 \times \text{tonf} \quad \text{방호울타리의 저항능력}$$

$$L_c = 3.296 \text{ m} \quad \text{방호울타리의 파괴길이}$$

$$H = 1.05 \text{ m} \quad \text{방호울타리의 높이}$$

【 계산 】

$$V_{CT} := \frac{R_w}{L_c + 2 \times H} = 9.321 \times \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$T := V_{CT} = 9.321 \times \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

그림 : 충돌에 의한 방호벽의 전단력

## 2 ) Nominal Shear Resistance ( 도로교표준시방서 (부록) p.5-72 참조 )

### 【 설계 입력 변수값 】

$$B_{\text{bottom}} := 42\text{cm}$$

보강 후 방호벽의  
하단 두께

$$A_{\text{cv}} := B_{\text{bottom}} \times 1\text{mm} \times \frac{1}{\text{mm}} = 420 \times \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

방호벽  
하단의 벽체 두께

$$A_{\text{vf}} := \left( D16 \times \frac{1000}{200} + D16 \times \frac{1000}{200} + D13 \times \frac{1000}{200} \right) \times \frac{1}{\text{m}} = 2.619 \times \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

기존 방호벽의  
수직 철근량

$$f_{y,\text{old}} = 294.2 \times \text{MPa}$$

기존 방호벽의 배근 철근의  
항복강도

$$f_{\text{ck},\text{old}} = 23.536 \times \text{MPa}$$

약한 쪽 콘크리트의  
28일 압축강도  
( 기존 방호벽 )

$$c := 0.52\text{MPa}$$

점착 계수

$$\lambda := 1.0$$

마찰 계수

$$\mu := 0.6 \times \lambda = 0.6$$

콘크리트 종류에 따른 계수

$$P_c := 837 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} = 8.208 \times \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

전단면에 수직인 영구 순압축력  
( 방호벽 중량 )

## 【 계산 】

$$V_n := c \times A_{cv} + \mu \times (A_{vf} \times f_{y.new} + Pc) = 685.718 \times \frac{N}{mm}$$

공칭 전단강도

$$V_n = 69.924 \times \frac{tonf}{m}$$

### 식 (5 8 4 1-1)에 대한 검토

$$f_{ck.new} \times A_{cv} = 9885.103 \times \frac{N}{mm}$$

$$V_{n.check1} := \begin{cases} \text{"O.K"} & \text{if } V_n < 0.2 \times f_{ck.new} \times A_{cv} \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"O.K"}$$

### 공칭 전단강도 상한값에 대한 검토

$$0.55MPa \times A_{cv} = 231 \times \frac{N}{mm}$$

$$V_{n.check2} := \begin{cases} \text{"O.K"} & \text{if } V_n < 0.55MPa \times A_{cv} \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"O.K"}$$

### 충돌에 의한 방호벽에 작용하는 전단력 검토

$$V_{CT} = 91.408 \times \frac{N}{mm}$$

$$V_{n.check3} := \begin{cases} \text{"O.K"} & \text{if } V_n > V_{CT} \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"O.K"}$$

### 3 ) 최소 전단 철근 검토 ( 도로교표준시방서 (부록) p.5-73참조 )

#### 【 설계 입력 변수값 】

$$b_v := 420\text{mm}$$

접촉면의 폭  
900mm보다 커서는 안된다

$$s := \frac{200\text{mm} + 200\text{mm} + 200\text{mm}}{4} = 15 \times \text{cm}$$

이음재의 행간 간격

철근의 행사이의  
종방향 간격은  
600mm를 초과할 수 없다

$$A'_{vf} := (D16 + D16 + D13) = 523.9 \times \text{mm}^2$$

한 행에 배근된 철근의 량

#### 【 계산 】

$$A_{cf} := 0.35\text{MPa} \times \frac{b_v \times s}{f_{y.\text{old}}} = 74.949 \times \text{mm}^2$$

최소전단철근량

$$A_{vf.\text{check}} := \begin{cases} \text{"O.K"} & \text{if } A'_{vf} > A_{cf} \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"O.K"}$$

#### 4) 정착길이 검토 ( 도로교표준시방서 (부록) p.5-135 참조 )

전단 마찰 철근은 설계항복강도를 발휘하기 위해 전단면의 양쪽에 매입, 갈고리 또는 용접으로 정착 하여야 한다

##### 【 기본 정착 길이 】

$$d_b := 16\text{mm}$$

사용 철근의 공칭 지름

$$L_{nb.1} := \frac{100\text{MPa}^{\frac{1}{2}} \times d_b}{\sqrt{f_{ck.slab}}} = 310.941 \times \text{mm}$$

$$L_{nb.2} := 8 \times d_b = 128 \times \text{mm}$$

$$L_{nb.3} := 150\text{mm}$$

$$L_{nb} := \max(L_{nb.1}, L_{nb.2}, L_{nb.3}) = 310.941 \times \text{mm}$$

##### 【 수정 계수 】

사용된 철근이 해석에 의해 요구되는 량을 초과하는 경우

$$A_{cf} = 0.749 \times \text{cm}^2 \text{ 최소 필요 전단 철근량}$$

$$A'_{vf} = 5.239 \times \text{cm}^2 \text{ 배근된 전단 철근량}$$

$$\text{수정 계수} := \frac{A_{cf}}{A'_{vf}} = 0.143$$

##### 【 정착 길이 】

$$L_{dh} := L_{nb} \times \text{수정 계수} = 4.448 \times \text{cm}$$

##### 【 사용 정착 길이 】

$$L_{dh.use} := 158\text{mm}$$

$$L_{dh.check} := \begin{cases} \text{"O.K"} & \text{if } L_{dh} < L_{dh.use} \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"O.K"}$$

## 5. 방호벽의 기존 콘크리트와 보강콘크리트의 일체화 검토

### 5.1 발생가능한 최대 전단력 산정

콘크리트의 전단강도 이상이 발생하게 되면 콘크리트의 부착강도가 충분하더라도 콘크리트의 전단파괴가 발생하게 되므로 부착강도는 콘크리트의 전단강도에 대해 설계한다.

#### 【 설계 입력 변수값 】

$$f_{ck.new} = 23.536 \times \text{MPa}$$

#### 【 계산 】

$$V_c := 0.13\text{MPa}^{\frac{1}{2}} \times \sqrt{f_{ck.new}} = 0.631 \times \text{MPa}$$

$$V_u = V_c \times A_c$$

## **5.2 전단에 대한 저항력 산정 ( 부착강도)**

( 도로교표준시방서 (부록) p.5-72 참조 )



## 1) 상면에 대한 검토

### 【 설계 입력 변수값 】

$$B_c := 0.27\text{m}$$

방호벽 상면  
기존 방호벽 만나는 부분의  
방호벽 두께

$$A_c := B_c \times 1\text{m} = 0.27\text{m}^2$$

방호벽 상면의  
전단 저항 단면적

$$V_u := V_c \times A_c = 170.284 \times \text{kN}$$

저항 전단력  
산정

$$c := 0.52\text{MPa}$$

점착 계수

표면이 깨끗하고 레이어턴스가  
없으나, 의도적으로 요철을  
두지 않은 콘크리트에  
타설한 콘크리트  
 $C = 0.52\text{MPa}$   
 $\mu = 0.6 \times \lambda$

$$\lambda := 1.0$$

콘크리트 종류에 따른 계수

$$\mu := 0.6 \times \lambda = 0.6$$

마찰 계수

표면이 깨끗하고 레이어턴스가  
없으나, 의도적으로 요철을  
두지 않은 콘크리트에  
타설한 콘크리트  
 $C = 0.52\text{MPa}$   
 $\mu = 0.6 \times \lambda$

$$P_c := 0.000\text{N}$$

전단면에 수직인 영구 순압력  
만약 작용하는 힘이 인장력이면  
 $P_c = 0$

$$f_{y,\text{new}} = 294.2 \times \text{MPa}$$

보완 단면의  
수직철근의  
항복강도

$$\phi := 0.8$$

【 필요 철근량 산정 】

$$V_u = \phi_n = 0.8 \times [c \times A_c + \mu \times (A_{vf} \times f_y + P_c)]$$

$$A_{vf.req} := \frac{\frac{V_u}{\phi} - c \times A_c}{\mu \times (f_{y.new} - P_c)} = 4.105 \times \text{cm}^2$$

$D := D13$   
 $n_{bar} := \frac{1000}{200} = 5$

사용 철근 규격  
( 보완 단면의 수직철근의 규격 )

사용 갯수  
( 보완단면의 수직 철근의 배근 간격 )

$$A_{s.use} := D \times n_{bar} = 6.335 \times \text{cm}^2$$

$$A_{s.check} := \left\{ \begin{array}{ll} \text{"O.K"} & \text{if } A_{vf.req} < A_{s.use} \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{array} \right. = \text{"O.K"}$$

## 2) 측면에 대한 검토 (원설계)

표면을 의도적으로 mm 크기의 요철로 거칠게 한 깨끗하고 굳은 콘크리트에 타설한 콘크리트

### 【 설계 입력 변수값 】

$$B_c := 0.49\text{m} \dots = 0.92\text{m} \\ + 0.3\text{m} \dots \\ + 0.13\text{m}$$

방호벽 측면에서  
기존 방호벽과 만나는 부분의  
총 연장

$$\sqrt{(215 + 215)^2 + 50^2} = 432.897$$

$$\sqrt{(175\text{mm})^2 + (120\text{mm})^2} = 0.212\text{m}$$

$$A_c := B_c \times 1\text{m} = 0.92\text{m}^2$$

방호벽 상면의  
전단 저항 단면적

$$V_u := V_c \times A_c = 580.226 \times \text{kN}$$

저항 전단력  
산정

$$c := 0.70\text{MPa}$$

점착 계수

표면을 의도적으로 6mm 크기의  
요철로 거칠게 한 깨끗하고  
굳은 콘크리트에 타설한  
콘크리트  
 $C = 0.7\text{MPa}$   
 $\mu = 1.0 \times \lambda$

$$\lambda := 1.0$$

콘크리트 종류에 따른 계수

$$\mu := 1.0 \times \lambda = 1$$

마찰 계수

표면을 의도적으로 6mm 크기의  
요철로 거칠게 한 깨끗하고  
굳은 콘크리트에 타설한  
콘크리트  
 $C = 0.7\text{MPa}$   
 $\mu = 1.0 \times \lambda$

$$P_c := 0.000\text{N}$$

전단면에 수직인 영구 순압력  
만약 작용하는 힘이 인장력이면  
 $P_c = 0$

$$f_y := f_{y.\text{new}} = 294.2 \times \text{MPa}$$

보완 단면의  
수직철근의  
항복강도

$$\phi := 0.8$$

【 필요 철근량 산정 】

$$V_u = \phi V_n = 0.8 \times [c \times A_c + \mu \times (A_{vf} \times f_y + P_c)]$$

$$A_{vf.req} := \frac{\frac{V_u}{\phi} - c \times A_c}{\mu \times (f_y - P_c)} = 2.763 \times \text{cm}^2$$

$$D := D10$$

사용 철근 규격  
( 보완 단면의 전단철근의 규격 )

$$n_{bar} := \frac{1000}{400} + \frac{1000}{400} = 5$$

사용 갯수  
( 보완단면의 전단 철근의 배근 간격 )

$$A_{s.use} := D \times n_{bar} = 3.567 \times \text{cm}^2$$

$$A_{s.check} := \begin{cases} \text{"O.K"} & \text{if } A_{vf.req} < A_{s.use} \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"O.K"}$$

2) 측면에 대한 검토 ( 철근 변경 검토)  
D10을 D13으로  
표면 치핑 삭제

표면이 깨끗하고 레이턴스가 없으나 의도적으로 요철을 두지 않은 콘크리트에  
타설한 콘크리트

【 설계 입력 변수값 】

$$B_c := 0.49\text{m} \dots = 0.92\text{m} \\ + 0.3\text{m} \dots \\ + 0.13\text{m}$$

방호벽 측면에서  
기존 방호벽과 만나는 부분의  
총 연장

$$\sqrt{(215 + 215)^2 + 50^2} = 432.897$$

$$\sqrt{(175\text{mm})^2 + (120\text{mm})^2} = 0.212\text{m}$$

$$A_c := B_c \times 1\text{m} = 0.92\text{m}^2$$

방호벽 상면의  
전단 저항 단면적

$$V_u := V_c \times A_c = 580.226 \times \text{kN}$$

저항 전단력  
산정

$$c := 0.52\text{MPa}$$

점착 계수

표면을 의도적으로 6mm 크기의  
요철로 거칠게 한 깨끗하고  
굳은 콘크리트에 타설한  
콘크리트  
 $C = 0.7\text{MPa}$   
 $\mu = 1.0 \times \lambda$

$$\lambda := 1.0$$

콘크리트 종류에 따른 계수

$$\mu := 0.6 \times \lambda = 0.6$$

마찰 계수

표면을 의도적으로 6mm 크기의  
요철로 거칠게 한 깨끗하고  
굳은 콘크리트에 타설한  
콘크리트  
 $C = 0.7\text{MPa}$   
 $\mu = 1.0 \times \lambda$

$$P_c := 0.000\text{N}$$

전단면에 수직인 영구 순압력  
만약 작용하는 힘이 인장력이면  
 $P_c = 0$

$$f_y := f_{y.\text{new}} = 294.2 \times \text{MPa}$$

보완 단면의  
수직철근의  
항복강도

$$\phi := 0.8$$

【 필요 철근량 산정 】

$$V_u = \phi V_n = 0.8 \times [c \times A_c + \mu \times (A_{vf} \times f_y + P_c)]$$

$$A_{vf.req} := \frac{\frac{V_u}{\phi} - c \times A_c}{\mu \times (f_y - P_c)} = 13.986 \times \text{cm}^2$$

$$D := D13$$

사용 철근 규격  
( 보완 단면의 전단철근의 규격 )

$$n_{bar} := \frac{1000}{200} + \frac{1000}{200} = 10$$

사용 갯수  
( 보완단면의 전단 철근의 배근 간격 )

$$A_{s.use} := D \times n_{bar} = 12.67 \times \text{cm}^2$$

$$A_{s.check} := \begin{cases} \text{"O.K"} & \text{if } A_{vf.req} < A_{s.use} \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"N.G"}$$

$$D := D16$$

사용 철근 규격  
( 보완 단면의 전단철근의 규격 )

$$n_{bar} := \frac{1000}{200} + \frac{1000}{400} = 7.5$$

사용 갯수  
( 보완단면의 전단 철근의 배근 간격 )

$$A_{s.use} := D \times n_{bar} = 14.895 \times \text{cm}^2$$

$$A_{s.check} := \begin{cases} \text{"O.K"} & \text{if } A_{vf.req} < A_{s.use} \\ \text{"N.G"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"O.K"}$$