

鉄骨に型枠を吊しコンクリートを施工する 鉄骨コンクリート構造の設計及施工について

榎 本 盛 彦 ※

1. 本工法の概要

高層建築物には鉄骨コンクリート構造が経済的である。それは鋼の強度とコンクリートの強度及びコンクリートの耐火性、耐久性等の特性が有効に利用されているからであると思う。橋梁に於いては最近に至り合成桁の橋梁が各所に採用されて居るが、鉄骨コンクリート造りとしては味だ架設された記憶がないようである。

従来の高層建築に於ける鉄骨コンクリート造りの設計に就いても多少の矛盾が有るようであるが、合成桁やP・Cコンクリートからヒントを得て、鉄骨に型枠を吊しコンクリートを施工する鉄骨コンクリート構造の設計及び施工法に就て研究してみたいと思う

先ず其の施工法の概要を述べると

- 1) 橋梁の主桁の如きに於て、先ず鉄骨部分の組立を完了する。
- 2) この鉄骨に吊して型枠を組立てる（一部足場に利用する事を出来る）
- 3) コンクリートの凝結中にコンクリートの重量により鉄骨が撓み、付着応力の低下を招くことのないように予め、型枠を通し鉄骨に下方に引張力を加え所定の撓みを与えて置く。
- 4) コンクリートを打設した場合コンクリートの重量により引張力が消え、鉄骨に与えられた当初の撓みが変わらないようにする。即ち、型枠を撤去した後鉄骨にのみ死荷重による応力が残ることになる。

次に此の設計に就ての要点を述べれば

- 1) 先ず鉄骨コンクリート造りとして全荷重に対して概算をなし断面を仮定する。其の際鉄骨の上弦機は下弦機の約 $\frac{1}{2}$ 程度の断面積とする
- 2) 鉄骨のみに対して死荷重による応力を計算する。
- 3) 鉄骨コンクリート造りとして活荷重（衝撃荷重を含む）による応力を求める。
- 4) 鉄骨の死荷重による応力と活荷重による応力の和が、鋼の許容応力度以内であり、コンクリートの活荷重による応力も又許容応力度以内である如く、反復計算して断面を決定する。
- 5) 活荷重による剪断応力はコンクリートにて十分耐え得る如く設計し、死荷重による剪断応

※ 三井建設土木企画部

力と活荷重により鉄骨に伝えられる剪断耐力に耐え得るように鉄骨の復部機（或は斜材）を設計する。

以上が本工法の設計及び施工法の概要であるが、出来れば2〜3時間以内位でコンクリート打設が終える事が出来れば、下から引張力を加えないで良いと思われる。又コンクリートを分割して打設することも考えられるが、其の場合設計を分割した範囲毎に変えなければならない。

2. 本工法の利点

本工法には次の如き種々の利点があると思われる。

- 1) 鉄筋コンクリート構造はコンクリートが割安であるので、小スパンの場合鋼構造に比し経済的である。唯強度が小さく死荷重が大きくなり長大スパンに対して不利である。鉄骨コンクリート構造は夫々の利点を生かし得る中スパンに対して経済的であると思われる。
- 2) 鉄筋コンクリート構造は数多くの型枠、支柱を必要とするが、本工法では割合簡単にアンカーを取りロープにて引張すればよい。又支柱を立てられず複雑な型枠の支保工事を必要とする場合本工法は有利と思われる。
- 3) コンクリート工場にて生産する場合は鉄骨にて継手を作り、現場にて組立てた後其の部分のみコンクリートを打設すれば良いので大スパンの場合運搬組立が容易である
- 4) 将来軽量コンクリート（勿論吸水率少く高強度を出し得るもの）と高張力鋼の利用により応用範囲は広くなるとと思われる

3. 設計々算例

1) 構造概要

図1に示す構造に就て設計々算を示す。

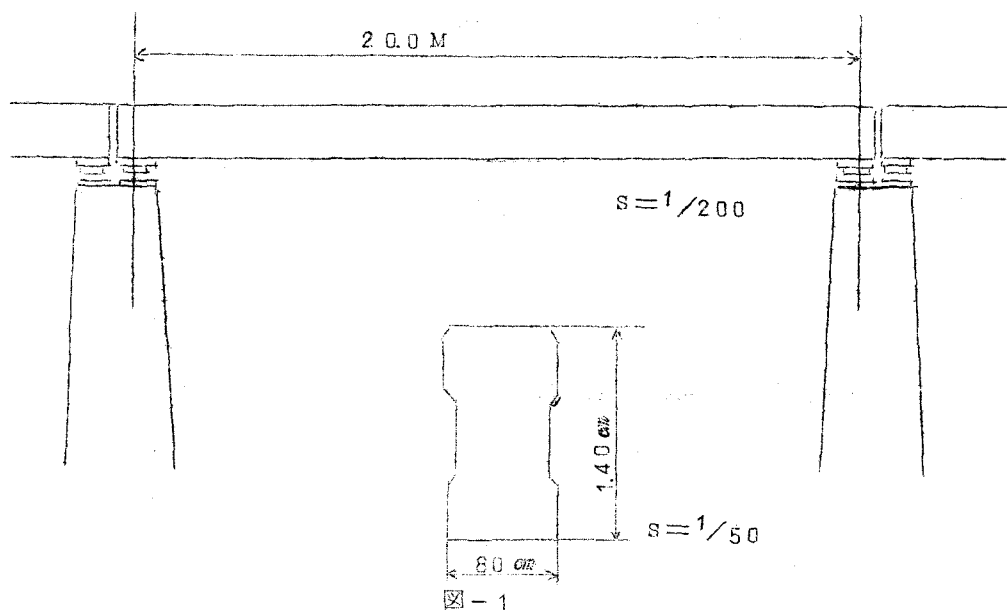


図-1

2) 荷 重

1) 活 荷 重

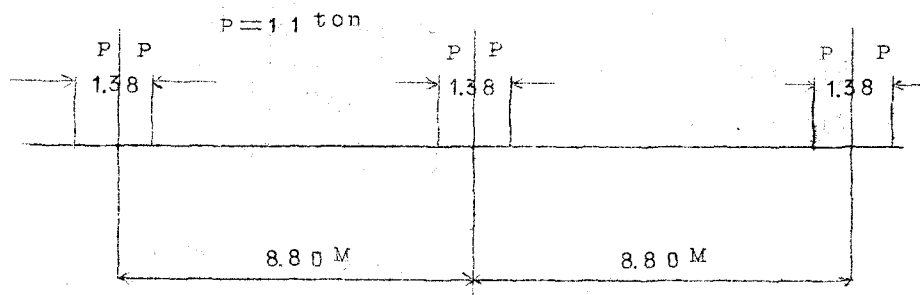


図-2

ロ) 衝撃荷重

$$i = \frac{20}{50 + \ell} \leq 0.3 \quad \text{但し } \ell^{(m)} \text{ は径間}$$

3) 許容応力度

コンクリート 圧縮強度 $\sigma_c = 60 \text{ Kg/cm}^2$

剪断強度 $\tau = 6 \text{ Kg/cm}^2$

附着強度 $\tau_o = 6 \text{ Kg/cm}^2$

軟 鋼 引張強度 $\sigma_s = 1300 \text{ Kg/cm}^2$

圧縮強度 $\sigma_s' = 1300 \text{ Kg/cm}^2$

4) 弾性係数比

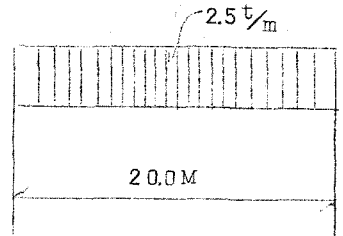
コンクリートと鋼の弾性係数比 N は鉄骨部もコンクリートを考慮する事として 1.0 と仮定する。

5) 応力計算

イ) 静荷重

$$M_{Dmax} = \frac{1}{8} \omega l^2 = \frac{1}{8} \times 2.5 \times 20^2 = 125 \text{ t.m}$$

$$Q_{Dmax} = \frac{1}{2} \omega l = \frac{1}{2} \times 2.5 \times 20 = 25 \text{ t}$$



ロ) 活荷重

$$Q_L = 3.3 \text{ t}$$

図-3

$$\begin{aligned} M_L &= 3.3 \times (10 - 0.69) - 1.1 \times 8.8 - 1.1 \times (8.8 - 1.38) \\ &= 12.881 \text{ t.m} \end{aligned}$$

ハ) 衝撃荷重

$$i = \frac{20}{50 + l} = \frac{20}{70} = 0.3$$

$$Q_i = 10 \text{ t}$$

$$M_i = 38.5 \text{ t.m}$$

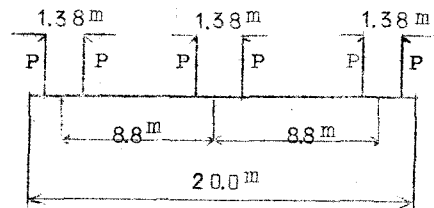


図-4

$$P = 11 \text{ t}$$

6) 断面計算

イ) 断面仮定

コンクリート断面は図2の如く決められて居るので鉄骨を概算にて仮定するものとする。

$$M = M_D + M_L + M_j$$

$$= 29.231 \text{ t.m}$$

$$\therefore Z = \frac{29.231000}{1200} \div 2.4360 \text{ cm}^3$$

下弦材断面積をAとし圧縮側中心と下弦材中心との距離を約1.10mとすれば

$$A = \frac{24.360}{1.10} = 22.1 \text{ cm}^2$$

故に今下弦材を

$$2-L \quad 150 \text{ mm} \times 150 \times 15 \text{ mm}$$

$$42.74 \times 2 = 85.48 \text{ cm}^2$$

$$6-FB \quad 150 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$$

$$15 \times 15 \times 6 = 135.00 \text{ cm}^2$$

$$\text{計 } A = 220.48 \text{ cm}^2$$

上弦材を

$$2-L \quad 150 \text{ mm} \times 150 \times 15 \text{ mm}$$

$$85.48 \text{ cm}^2$$

$$2FB \quad 150 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$$

$$15 \times 15 \times 2 = 45.0 \text{ cm}^2$$

$$\text{計 } A = 130.48 \text{ cm}^2$$

と仮定する

ロ) 死荷重応力計算

$$M_D = 125.00 \text{ T.m}$$

$$Q = 25 \text{ T.m}$$

鉄骨断面積

$$4-L \quad 150 \times 150 \times 15$$

$$4 \times 42.74 = 170.96 \text{ cm}^2$$

$$8-FB \quad 150 \times 15$$

$$8 \times 22.50 = 180.00 \text{ cm}^2$$

$$\text{計 } A = 350.96 \text{ cm}^2$$

上部FB 150×15の上端に対する断面一次率

$$2FB \quad 45 \times 0.75 = 33.75 \text{ cm}^2$$

$$2L \quad 85.48 \times (4.10 + 1.50) = 478.688$$

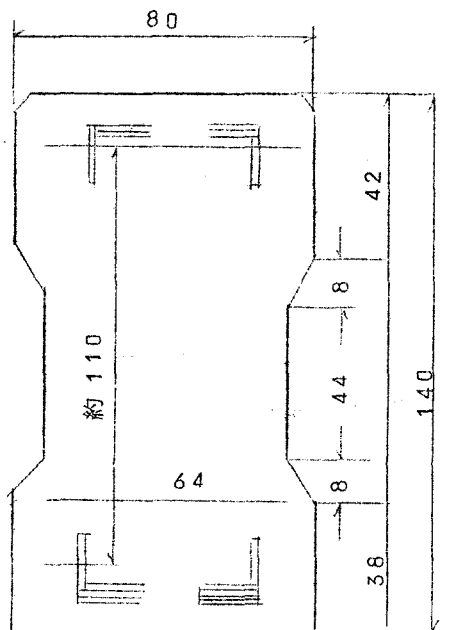


図-5

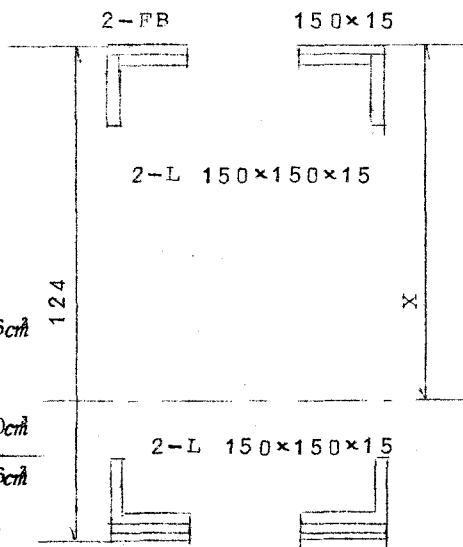


図-6

$$2L \quad 85.48 \times (124 - 4.5 - 4.10) = 9864.392$$

$$2FB \quad 4500 \times (124 - 3.75) = 5411.250$$

$$2FB \quad 4500 \times (124 - 2.25) = 5478.750$$

$$2FB \quad 4500 \times (124 - 0.75) = 5568.750$$

計 26835.58

$$\therefore X = \frac{26835.58}{350.96} \div 76.46 \text{ cm}$$

断面中心に対する断面二次率

$$2FB \quad 4500 \times (76.46 - 0.75)^2 \quad 257940 \text{ cm}^4$$

$$2L \quad 85.48 \times (76.46 - 4.10 - 150)^2 \quad 429207 \text{ cm}^4$$

$$2L \quad 85.48 \times (124 - 76.46 - 4.5 - 4.10)^2 \quad 129615 \text{ cm}^4$$

$$2FB \quad 4500 \times (47.54 - 3 - 0.75)^2 \quad 86290 \text{ cm}^4$$

$$2FB \quad 4500 \times (47.54 - 15 - 0.75)^2 \quad 92303 \text{ cm}^4$$

$$2FB \quad 4500 \times (47.54 - 0.75)^2 \quad 98518 \text{ cm}^4$$

計 $I = 1093878 \text{ cm}^4$

$$\text{上側FB } \sigma_c = \frac{12500000 \times 75.71}{1093878} = 865.155 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{下側FB } \sigma_t = \frac{12500000 \times 46.79}{1093878} = 534.70 \text{ Kg/cm}^2$$

端部剪断応力

斜材の剪断力

$$S = \frac{2}{\sqrt{3}} \times 25 \div 3 \text{ ht}$$

故に片側の斜材の断

面積は

$$A = \frac{30000}{1200 \times 2} \\ = 12.5 \text{ cm}^2$$

故に活荷量の応力を

考え $L75 \times 75 \times 12$

$AS = 16.56 \text{ cm}$ とする

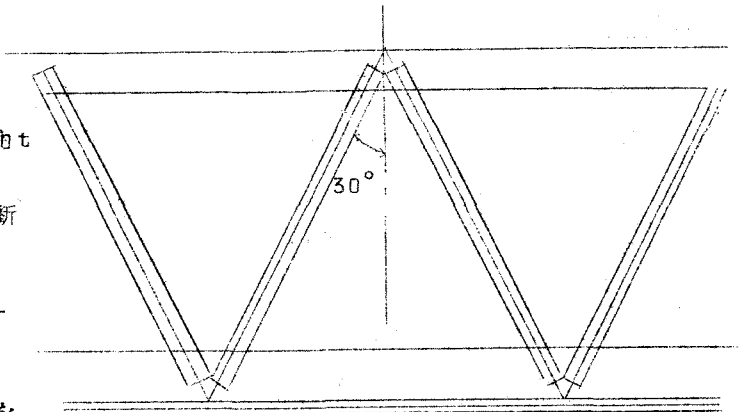


図-7

ハ) 活荷重及び衝撃荷重の応力計算

活荷重 衝撃荷重により

$$M = 1288.4 + 38.50 = 167.31 \tau.m$$

$$Q = 3.3 + 1.0 = 4.30 \tau$$

鉄骨コンクリート断面の数値計算

コンクリート断面の圧縮力

$$C = \frac{1}{2} 80 \times X \times \sigma_c$$

但 σ_c はコンクリート上縁応力

上部 F B $C' = 2 \times 1.5 \times 1.5 \times \sigma_c'$

上部 L $C' = 85.48 \times \sigma_c'$

下部 L $T = 85.48 \times \sigma_t$

下部 F B $T' = 45.00 \times \sigma_t'$

下部 F B $T'' = 45.00 \times \sigma_t''$

下部 F B $T''' = 45.00 \times \sigma_t'''$

$$10 \sigma_c : \sigma_c' = X : (X - 8.75)$$

$$\sigma_c' = \frac{10}{X} \sigma_c (X - 8.75)$$

$$10 \sigma_c : \sigma_c'' = X : (X - 9.50 - 4.10)$$

$$\sigma_c'' = \frac{10}{X} \sigma_c (X - 13.60)$$

$$10 \sigma_c : \sigma_t = X : (132 - X - 4.5 - 4.10)$$

$$\sigma_t = \frac{10}{X} \sigma_c (123.40 - X)$$

$$10 \sigma_c : \sigma_t' = X : (132 - X - 3.75)$$

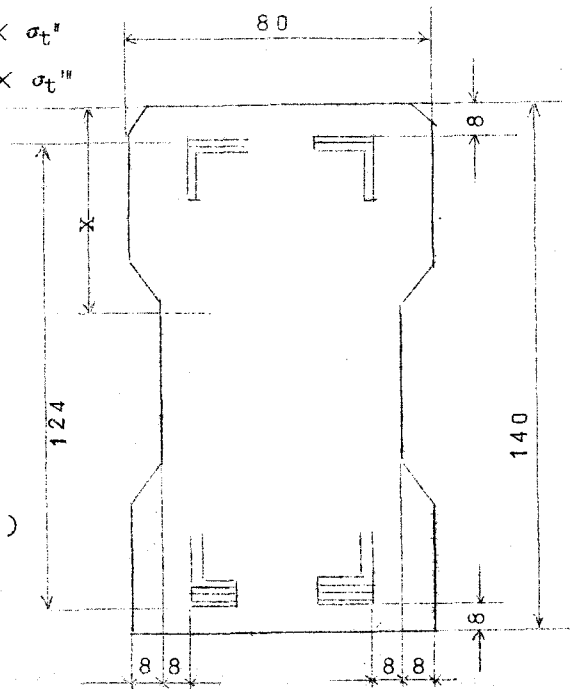
$$\sigma_t' = \frac{10}{X} \sigma_c (128.25 - X)$$

$$10 \sigma_c : \sigma_t'' = X : (132 - X - 2.25)$$

$$\sigma_t'' = \frac{10}{X} \sigma_c (129.75 - X)$$

$$10 \sigma_c : \sigma_t''' = X : (132 - X - 0.75)$$

$$\sigma_t''' = \frac{10}{X} \sigma_c (131.25 - X)$$



$C+C'+C''=T+T'+T''+T'''$ であるから

$$\begin{aligned}
 & 4 X^2 \sigma_c + 45(X-8.75) \sigma_c + 85.48(X-13.60) \sigma_c \\
 & = 85.48(123.40-X) \sigma_c + 45(128.25+129.75+131.25-3X) \sigma_c \\
 & \therefore 4 X^2 + 45 X - 45 \times 8.75 + 85.48 X - 85.48 \times 13.60 \\
 & = 85.48 \times 123.40 - 85.48 X + 45 \times (128.25+129.75+131.25) - 135 X \\
 & \therefore X^2 + 87.74 X - 7405.19 = 0 \\
 & \therefore = \frac{1}{2} (-87.74 \pm \sqrt{87.74^2 + 4 \times 7405.19}) \\
 & = \frac{1}{2} (-87.74 \pm 193.2) \\
 & = 52.73 \text{ cm} \quad (- \text{は不適})
 \end{aligned}$$

故に $\sigma_c^I = \frac{10}{52.73} \sigma_c (43.98) \quad \sigma_c^I = \frac{10}{52.73} \sigma_c (39.13)$

$\sigma_t = \frac{10}{52.73} \sigma_c (70.67) \quad \sigma_t^I = \frac{10}{52.73} \sigma_c (75.52)$

$\sigma_t^I = \frac{10}{52.73} \sigma_c (77.02) \quad \sigma_t^{II} = \frac{10}{52.73} \sigma_c (78.52)$

断面中心線に対するMomentは

コンクリート断面 $\frac{1}{3} 80 \times 52.73^2 \times \sigma_c$

FB $-\frac{10}{52.73} 45.00 \times 43.98^2 \sigma_c$

L $-\frac{10}{52.73} 85.48 \times 39.13^2 \sigma_c$

L $-\frac{10}{52.73} 85.48 \times 70.67^2 \sigma_c$

FB $-\frac{10}{52.73} 45.00 \times 75.52^2 \sigma_c$

FB $-\frac{10}{52.73} 45.00 \times 77.02^2 \sigma_c$

FB $-\frac{10}{52.73} 45.00 \times 78.52^2 \sigma_c$

以上の合計が $M = 167.31 \text{ ton-m}$ に等しい故

$$167.31000 \times 52.73 = \frac{52.73}{3} 80 \times 52.73^2 \sigma_c$$

$$45 \times (43.98^2 + 75.52^2 + 77.02^2 + 78.52^2) \sigma_c + 85.48 \times (39.13^2 + 70.67^2) \sigma_c$$

$$\therefore 1.83 \ 6.82 \ 6. \quad \sigma_c = 88222563$$

$$\therefore \quad \sigma_c = 48.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{10}{5.273} \ 48 \times 4.398 = 400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{10}{5.273} \ 48 \times 7.852 = 715 \text{ Kg/cm}^2$$

死荷重、活荷重、衝撃荷重の応力の合計は

$$\text{コンクリート} \quad 48 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{上側 FB} \quad 874 + 400 = 1274 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{下側 FB引張力} \quad 535 + 715 = 1250 \text{ Kg/cm}^2$$

故に仮定断面で十分である。

次に剪断応力度は

$$\tau = \frac{Q}{b \ z} \quad z = \frac{2}{3} \times 5.273 + 7.852 = 10.367$$

$$\therefore \tau = \frac{43000}{80 \times 10.367} = 5.2 \text{ Kg/cm}^2$$

附着応力度

$$Z_0 = \frac{43000}{10.367 \times (4 \times 15 + 9) \times 2} = 3.00 \text{ Kg/cm}^2$$

故に剪断力に対しても十分安全である。

⇒ 部材 FB 150 × 200 × 2 に付いての計算は略す

4 鉄骨に対する引張力に付いて。

コンクリート施工前、鉄骨に加える引張力は次の如くである。即ち、コンクリート重量は 2.2 t/m なる故、中央 8.0 m に付いて片側 2.5 t × 4.0 m = 10 t のコンクリート重量に見合うように図の如く 13.5 t の引張力を加える。

次の 6.0 m に付いては 2.5 × 6.0 = 15.0 t のコンクリート重量に図-9 の如き方向に 15.8 t の引張力を加える。但し、コンクリート施工はスパン中央より、両側へバランスを保ちつつ施工することとする。

若し、中央 8 m ~ 10 m を 2 ~ 3 時間以内に施工出来れば、両側に 15.8 t の引張力のみを其の後に於て加えて置く事によつて、附着応力に悪影響を及ぼさないものと思われる。

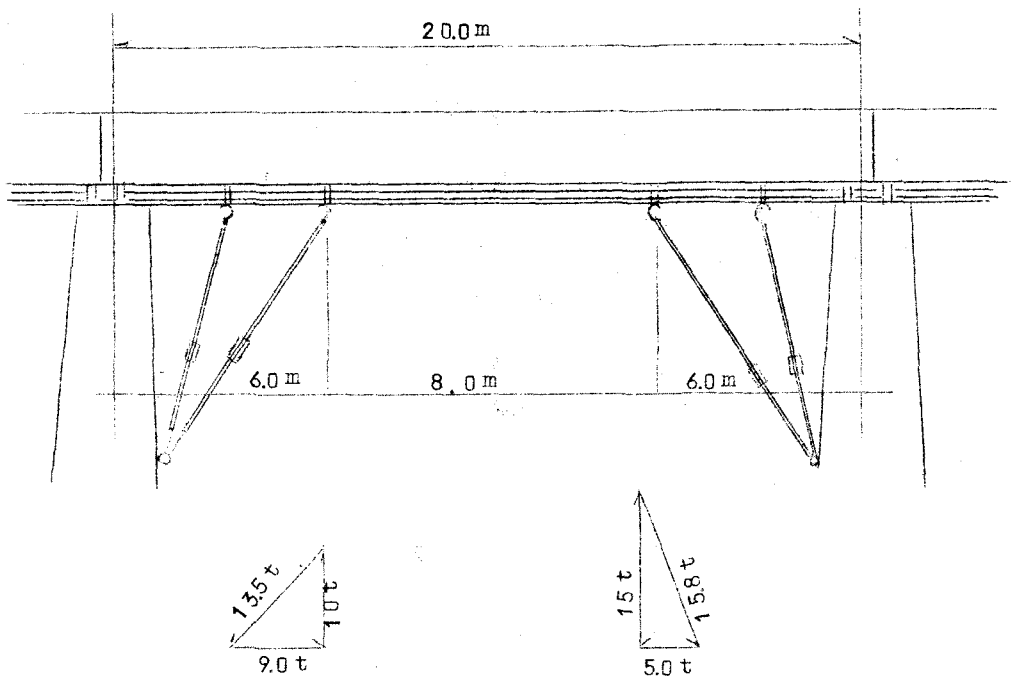


図-9

5 む す び

以上本工法についての概略を述べたが未だ所謂アイデアの域を出ず多くの問題が残っている。

即ち

- 1) コンクリート凝結中、鉄骨の撓に依る付着応力への影響。
- 2) コンクリート緩結剤使用の影響。
- 3) コンクリート凝結中（2～3時間後）振動を与えた場合（バイブレーター等にて）の強度への影響。
- 4) 引張力を加えた場合の鉄骨の撓み状況と静荷重による撓みの相違、等々。

尙数多くの研究を必要とすると思われますが、先輩諸氏の御指導を御願ひする次第である。