

[69] 薄板の付着ひびわれについて

正会員 西 堀 忠 信 (大阪市立大学工学部)

予 え が き

薄いコンクリート版内に埋め込まれた異形鉄筋に大きな引き抜き力が作用する場合、コンクリート版の表面で鉄筋軸に沿ったひびわれが発生する。このひびわれの発生によって鉄筋の応力度の分布、すなわち、鉄筋とコンクリートの付着応力度が変化し、ひびわれが生じている付近の付着応力度が低下し、付着応力度の大きい値はより深い所へと変化する。このひびわれは、異形鉄筋のソシの支圧による局部的な同方向の引張力によるほかに、版の特性として、版の面内力による水平方向の引張応力も大きな影響を有しているものと考えられる。

薄いコンクリート版に大きな面内力が作用するケースとしては、すれ止めを介してせん断力が伝達される合成桁の床版や架設時にクレーン船によって吊り上げられる港務用ケーソンの吊筋が埋め込まれている壁などがある。特にケーソン用の吊筋の場合、ケーソンの大型化に伴って、吊筋の本数の増加とともに吊筋1本当りの吊り上げ能力の大きくなる必要となる。吊り上げ能力を高めるために、従来の形式の吊筋を大型化することは施工も経済性の上からも限界があり、より大きな能力を有する吊筋として新しい型式のものが必要される。新しい考ええによる吊筋のうち、タイロッドを支圧板で定着し、支圧板を介してコンクリート壁に力を伝達する型式のもの、大きな付着特性を有する異形棒鋼を用いたものなどが考えられるが、実験の結果によると後者の付着による型式はもとより付着力を越えたタイロッド型式のものにおいても吊筋軸に沿ったひびわれの発生が認められた。したがって、これらのひびわれについて検討を加えて行く上でコンクリート版中に生ずる応力特性を知る必要がある。

本研究は、集中力および付着による分布力として作用する面内力によるコンクリート版の応力特性を確かめることを目的としたもので、弾性理論による応力特性の計算結果と実験結果からひびわれ発生状況および応力到達結果とを比較検討を加えたものであり、この種の構造物において力の作用する位置およびその大きさとひびわれ発生の可能性の予測をする上の資料としようとするものである。

コンクリート版の面内に集中力が作用する場合

シーシによって付着を絶ったタイロッドを支圧板で定着し、タイロッドに作用する引張力をコンクリートの支圧によって伝達する型式はマクロには集中面内力が作用するコンクリート版と見做すことができる。

右図は先述に行なったタイロッド形式の吊筋実験の模型の略図である。コンクリート壁は高さ40cmと粗骨材最大寸法25mm、スラック4mm、空気量4%、単位セメント量329kg/m³、水セメント比55%で、実験時のコンクリートの圧縮強度は平均145kg/cm²のものである。このコンクリート壁に、直径100mmの塩化ビニール管をシーシとし、直径80mmの高張力鋼を用いたタイロッドを挿入し、200×500×50mmの支圧板で定着し、タイロッドに220~290kgの引張力を作用させた。支圧板は上面から200mmの厚さとしたが、集中荷重の作用点である支圧板の厚さは、浅くすると施工の面から好ましく、また、安全性の上から深いものの方が好ましい。したがって、有害なひびわれの発生がほぼ範囲で浅いものを認めたこととなる。

図-2は、コンクリート壁のひびわれ発生状況を示したものである。図より、支圧板付近では100mmを越える水平方向のひびわれが発生している。これは、コンクリートの支圧にもとづくものと考えられ、コンクリートロッカーと同様の補強がこの部分で必要であることを示している。

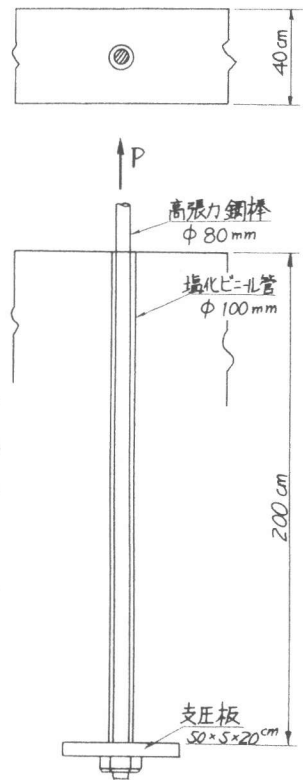


図 - 1

一方、荷重140t前後で上面から受圧板に至る鉛直ひびわれの発生を認めらる。このひびわれの発生原因は先に述べたように内面力に起因するものと考えらる。

薄板内に集中力が作用する場合の応力に関しては E. Melan²⁾ が弾性理論による解を述べている。図-3に示す座標系を用いると任意の点の水平、鉛直および剪断応力 σ_x , σ_y , τ_{xy} は、

$$\sigma_x = \frac{P}{\pi} \left\{ \frac{m+1}{2m} \left[\frac{(x-a)^3}{r_1^4} + \frac{(x+a)\{(a+a)^2+2ax\}}{r_2^4} - \frac{8ax(x+a)y^2}{r_2^6} \right] + \frac{m-1}{4m} \left[\frac{x-a}{r_1^2} + \frac{3x+a}{r_2^2} - \frac{4xy^2}{r_2^4} \right] \right\} \dots\dots (1)$$

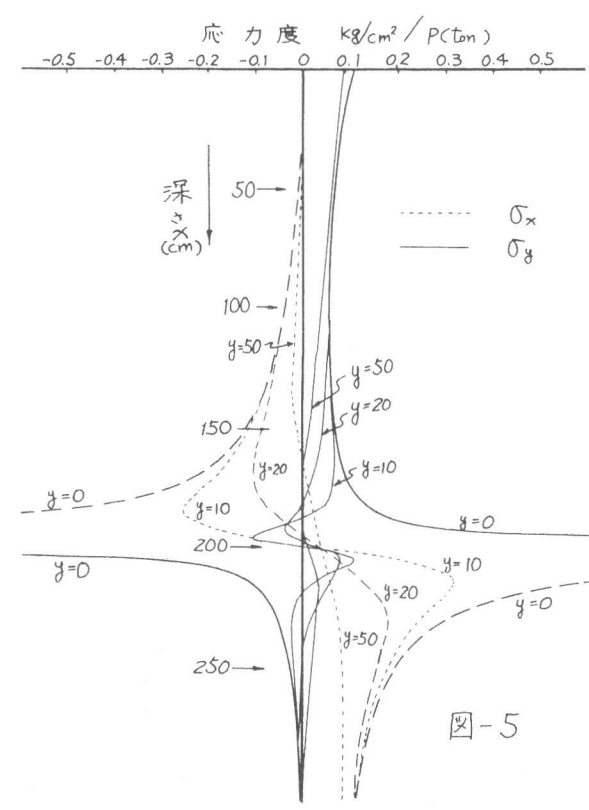
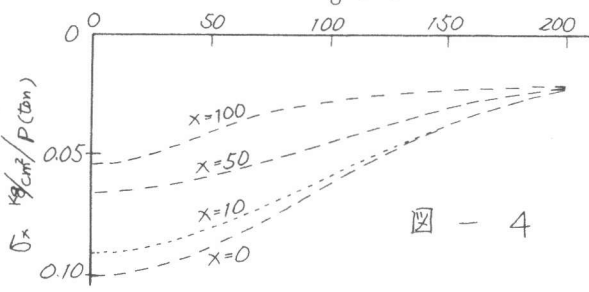
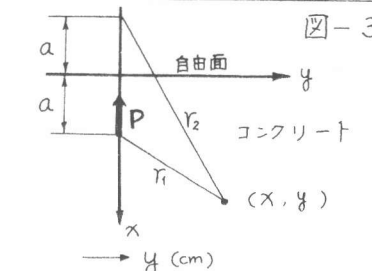
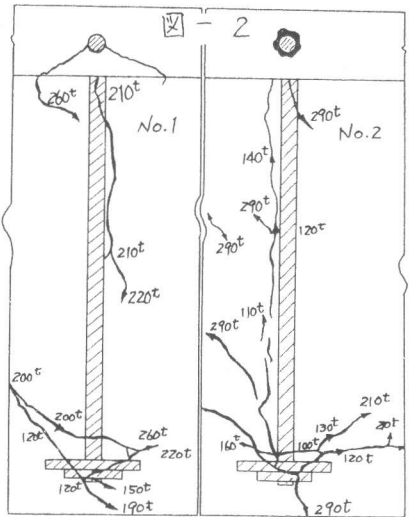
$$\sigma_y = \frac{P}{\pi} \left\{ \frac{m+1}{2m} \left[\frac{(x-a)y^2}{r_1^4} + \frac{y^2(x-a)+2a(x+a)}{r_2^4} + \frac{8ax(x+a)y^2}{r_2^6} \right] + \frac{m-1}{4m} \left[-\frac{x-a}{r_1^2} + \frac{x+3a}{r_2^2} + \frac{4xy^2}{r_2^4} \right] \right\} \dots\dots (2)$$

$$\tau_{xy} = \frac{P}{\pi} \left\{ \frac{m+1}{2m} \left[\frac{(x-a)^2}{r_1^4} - \frac{(x-a)^2-2a^2}{r_2^4} - \frac{8ax(x+a)^2}{r_2^6} \right] + \frac{m-1}{4m} \left[\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} - \frac{4a(x+a)}{r_2^4} \right] \right\} \dots\dots (3)$$

で表わされる。

上式にタイロッド型の諸元を代入して諸応力度を算出したが、計算結果より図-2に示すケースニ壁の上面付近の吊筋軸方向のひびわれと関連を有する水平方向の応力度は、図-4に示すように $y=0$ となる吊筋の中心軸で最大となり、中心軸から遠ざかるに従って減少している。この傾向は、荷重の作用点近きと同等である。また、図-5は、水平方向の応力度および鉛直方向の応力度の分布状況を示したものである。図によると吊筋軸に近づくにつれてひびわれに関連する水平方向の応力度は荷重の作用点の近く近傍で著しく大きくなることと、かつ上面で最大であり、深さ x が増すにつれて小さくなる傾向を示している。また荷重の作用点近傍の大きな水平引張応力は数mmで急激に小さくなるので考慮があるケースニ壁表面にては表面に現われるひびわれとは異なるものと思われる。

この計算結果によると荷重以外で最も大きな上面では荷重1t当り 0.1 kg/cm^2 となり、また、実験を行ったケースニ壁のコンクリートは実験時の現場養生体試体による引張強度で 11.7 kg/cm^2 となり、これらから上面で水平方向の応力度が引張強度に達する荷重を求めると約120tとなり、実験値より小さいが、コンクリートの引張に比して若干の塑性変形を伴うし、また、実験におけるひびわれ荷重は、目視によるので実験に比して引張強度に達したものは表面でひびわれを顕著した荷重よりかなり小さい値であると考えらる。したがって、上の計算によって求めた値はこの種の構造物のセイルの作用によるひびわれの予測に有効であるものと考



られる。

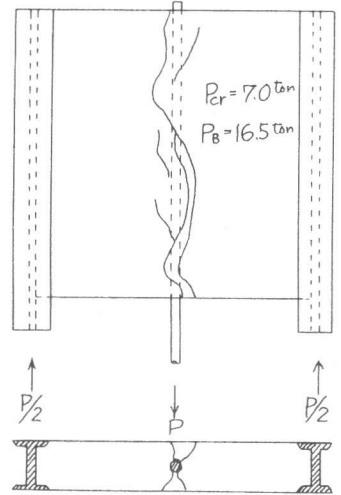
垂直方向の応力分布は受圧板上面で圧縮応力となり、その直下で大きな引張応力となる。この結果は図-2のひびわれとかなりよく符合している。

薄板内に埋め込まれた異形鉄筋の引き抜き

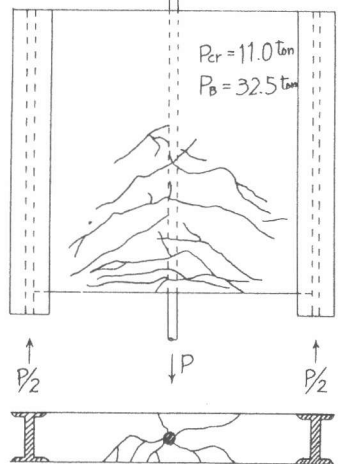
付着を有する異形鉄筋の場合引き抜き力は付着による分布した面内力となりタイロット型とは若干異なる。前者が中継しているため、厚さ15cm、縦・横とも90cmのコンクリート板中に32mmの斜めY型の異形鉄筋を埋め込んだ模型による引き抜き試験を行った。引き抜き力の反力はボルト式の下止めを付した薄型鋼二本を組合せ柱によって取った。供試体1は乾筋コンクリートであり、供試体2は載荷端側の面より5cm×5cm×15cmにD16の異形鉄筋一本を配置した。またD32の異形鉄筋には内部に斜め筋に10~50mm pitchにストレンゲージを張り付けひずみを測定した。またコンクリートの表面には100mmの格子鉄筋軸を基準として載荷端面を基準として記し、格子の交点に直交する2方向にキーを張りひずみを測定した。実験結果供試体1では鉄筋軸方向のひびわれが荷重増大で載荷端付近で観察され、このひびわれが成長し、16.5tで左右が分離するうちに破壊した。また、供試体2では最初に鉄筋軸に沿ってひびわれが発生したが、このひびわれはあまり発達せず、その後生じた鉄筋軸に平行な直交するひびわれが成長し、荷重32.5tで最大となった。両試験体のひびわれ発生状況は図-6に示す通り

図 - 6

供試体 1
ひびわれ図



供試体 2
ひびわれ図



である。

軸方向のひびわれを超越した供試体1の鉄筋の応力分布は図-7に示す。

本実験の場合面内力は鉄筋の付着によるので鉄筋軸に沿って分布したものとTF

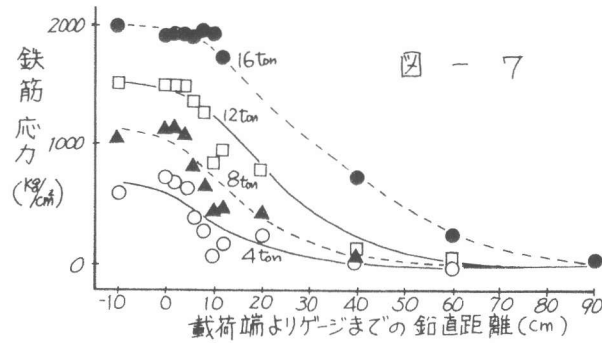


図 - 7

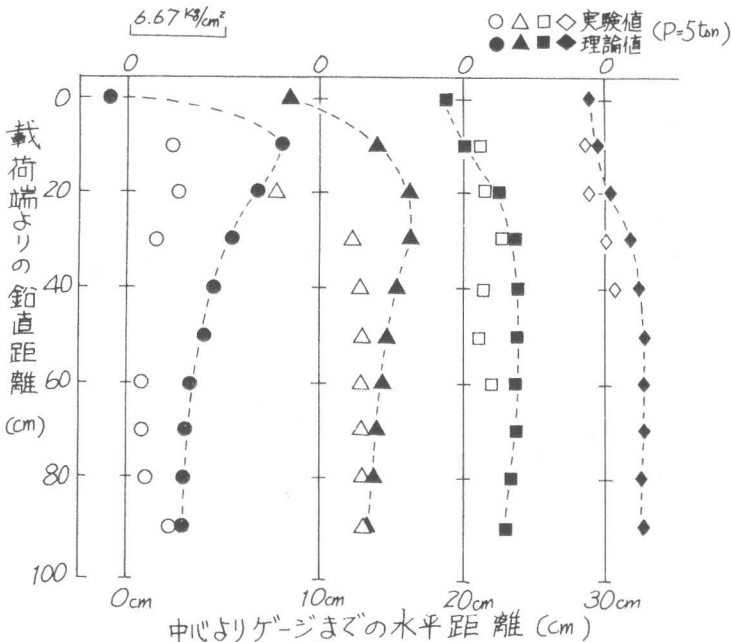


図 - 8

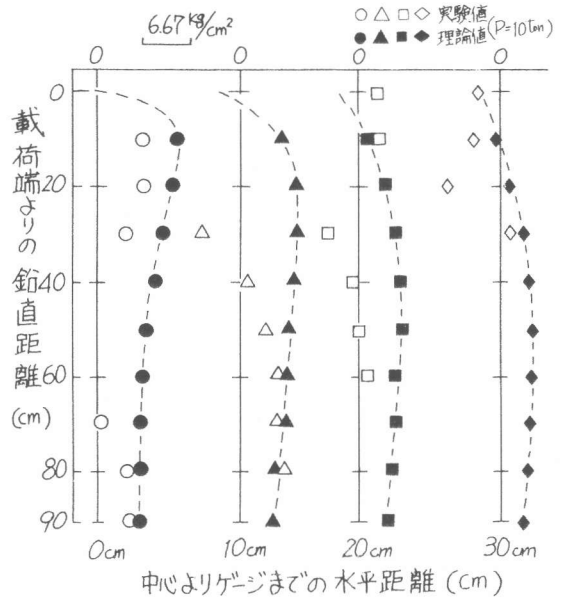


図 - 9

ける。鉄筋の周長を πD とし、ある微小区間における付着応力度を τ_i とすると、この区間に作用する面内力は、 $dP_i = \tau_i \pi D da$ 。この区間に作用する力によつて派生する応力度 σ_{xi} , σ_{yi} および τ_{xyi} は、(1)~(3)とこの区間で積分し、

$$\sigma_x = \pi D \sum_{i=1}^n \left[0.8 \log \frac{r_2}{r_1} - 0.3 \frac{y^2}{r_1^2} + \frac{0.3 y^2 - x^2 - 1.6 ax}{r_2^2} + \frac{1.2 ax y^2}{r_2^4} \right] a_i \tau_i \quad \dots \dots (4)$$

$$\sigma_y = \pi D \sum_{i=1}^n \left[0.2 \log \frac{r_2}{r_1} + \frac{0.3 y^2}{r_1^2} - \frac{0.9 y^2 - x^2 + 0.2 ax}{r_2^2} - \frac{1.2 ax y^2}{r_2^4} + \frac{1.6 x}{y} \tan^{-1} \frac{x+a}{y} \right] \tau_i \quad \dots \dots (5)$$

$$\tau_{xy} = \pi D x \sum_{i=1}^n \left[0.3 \frac{x-a}{r_1^2} - \frac{0.5}{y} \tan^{-1} \frac{x-a}{y} - \frac{3.3 x - 0.7 a}{r_2^2} + \frac{1.2 x (x^2 + ax + y^2)}{r_2^4} - \frac{1.2 x^2 + 0.1 y^2}{y^3} \tan^{-1} \frac{x+a}{y} \right] \tau_i \quad (6)$$

で表わされる。ここで n は区間の数、 τ_i は同一7より得る付着応力度の i 区間の平均値とする。また、ユニフリートのポアソン比 μ は5と仮定した。

図-8および図-9は、荷重5トンおよび10トンの場合の水平ひずみおよび鉛直ひずみの測定結果より求めた水平方向の応力度と(4)式にて図-7より求めた付着応力度を代入して求めた計算応力度とを示したものである。図によると測定された水平方向に若干のずれは認められるが、応力度の分布の傾向は計算値と一致しているものと見做しう。この結果によると、載荷端で大きな付着応力度を示した $P=5$ tonの場合の方が $P=10$ tonの場合より大きな水平方向の応力度を示している。また、付着に乏る場合も水平方向の応力度は鉄筋軸から遠ざかるにしたがって減少する傾向が認められる。

付着に期待する形式の中筋の場合、付着による上向きのかか上面に近くと上面に大きな水平方向の引張応力度が生ずることが計算結果より明らかとなつた。図-10はその一例として示したもので、上面から鉄筋直径 d の深さにある鉄筋軸上の水平方向の応力が荷重莫びのように変化することを示したものである。図より着目更直傍で大きな応力を示すが、力が分布形をとる場合には粗減されること、応力が遠ざかるにつれて水平方向の応力が小さくなること、また水平方向応力の大きな範囲は鉄筋軸から45°の範囲を以てなすことにより遠ざかるにつれて減少する傾向にある。

なお本実験において図-7より附らからように、鉄筋軸方向のひびわれが生ずると付着応力度の大きい位置は下方に移動し、実測はひびわれ発生の影響が考えられるとしても、半無限板の計算値も水平方向の応力が低下することを示しているのて、付着に期待する形式の中筋においても上面近くの付着応力度を低い値にすることはひびわれ発生を抑制に有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 鉄筋の応力測定調査報告書—運輸省、港湾建設局、神戸調査事務所
- 2) Der Spannungszustand der durch eine Einzel Kraft im Innern beanspruchten Halbscheibe — Ernst Melan — Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. Band 12. 1932. Seite 343-346

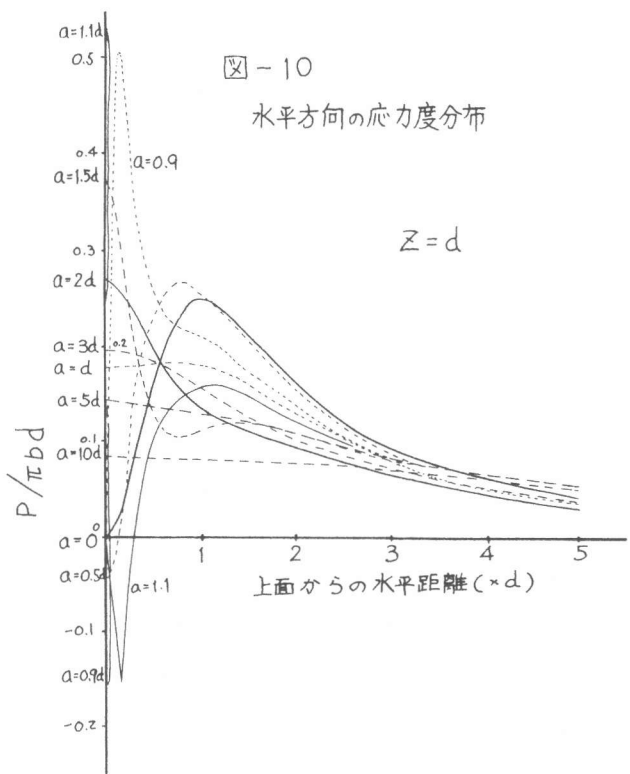


図-10
水平方向の応力度分布