

III-90 フーチングの剛性を考えたクイ反力の検討(2)

首都高速道路公団	正員	小村	敏
"	"	○矢作	枢
大成建設土木設計部	"	金井	壮次
"	"	石川	勝之

1. 概要

従来、橋脚基礎を対象とする、ワイ式フーチング基礎の設計においては、フーチングを剛体変形するものとして扱っているものが多い。しかし、その厚さを決める決定的方法はなく、すべて設計者の判断にまかされているのが現状のようである。

本報告では、クイ式フーチング基礎のうち、特に場所打コンクリートクイを用いたものを対象として実際のフーチングが剛体変形にくらべて、どのような変形挙動を示めし、又クイの分担荷重がどのようになるかを、主として理論的に検討し、それらの関係からフーチングの厚さを算定する一試案を提案するものである。昨年度よりこれについて基礎的検討を行って来たが、その概略についてここに報告する。(表題と同名(1)については、クイの鉛直バネ定数について論じたもので、土質学会にて報告している)

2. 解析方法と範囲

クイ式のフーチング基礎としては、いろいろな構造形があるが、これらを理論的に解析しようとする場合、どのようなモデルに置きかえ、どのような手法により解析するかが重要な問題となる。

当報告ではモデル化として、フーチングを版構造、クイ弾性バネと考え、弾性支承上に支えられた版構造として、2次元有限要素法による理論解析を行うものとした。

版の曲げ問題を取り扱いにあたり、特にフーチングを版構造とみなす時に、それは丁度、薄版と厚版との中間的な厚さを有しているということより、当然3次元的な変形性状、即ち、厚さ方向のせん断変形の影響が生じてくる様に思える。

その問題を検討する意味で3次元有限要素法による立体解析を行い種々比較検討を試みたが、それによると、要素分割の数及びその方法により計算精度上の問題はあるが、2次元有限要素法との比較を行うと良い近似を示めている。

2次元有限要素法により理論解析を行う際、直接精度に関係してくるところの、要素分割の方法及び数、等の問題については、予備検討を種々行って適当な方法を決定した。

クイ式フーチング基礎を解析する際の対象範囲としては、これらの構造形体にはあまりにも種々形状があり過ぎ、フーチングの形状及びクイの配置の多様性、クイのバネ定数のバラツキ、更には上部工から伝達する荷重の分布形状の問題等があり、これらをすべて含めて一般性を見出すことは、不可能に近い。

そこで当解析は、クイ式フーチング基礎の構造形状を次の様に限定し、それらにおける性質をまず把握する事を目的として、基礎的検討のみを行うことに主眼をおくものとした。

- 1) フーチング形状は正形状とする。

- 2) クイ配置は等間隔の正方形配置とし、クイ本数は 3×3 、 4×4 、 5×5 及び 6×6 の 4 種類とする。
- 3) クイのバネ定数については、場所打コンクリートクイを対象として、クイ 1 本当りのバネ定数を、 $250 \sim 1000 \text{ 1/cm}$ とする。
- 4) 外力荷重としては、対称鉛直分布荷重とし、フーチング版面積の $1/4$ 載荷とする。

3 結果及び考察

フーチングの変形挙動を表現する性格のものとして、フーチング版が完全剛体であると仮定した場合のクイ反力と、版がある剛性を有して変形することにより生ずるクイ反力との比を“荷重分担係数”と名づけ、それと版の変形状に及ぼす因子として考えられるところの版の厚さに関する版の曲げ剛性、クイの弾性鉛直バネ定数、及びクイの本数等を加味した“影響係数”との間の両者の関連性につき、考察した。

ここで影響係数としては、次の様な形の式を考える。

$$\beta = \frac{4}{\sqrt{4EI}} \frac{k}{\sqrt{4EI}} \left(\frac{1}{m} \right)$$

$$k = \frac{k_v \times N}{\ell \times \ell} \times 1.0 \left(\frac{1}{m} \right)$$

但し k ; 換算の地盤反力係数 (単位巾当り) ($1/m$)

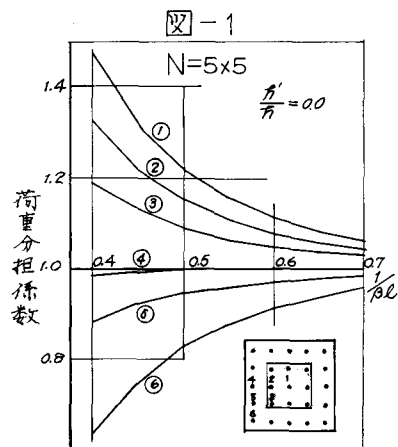
N ; クイの本数

k_v ; クイ 1 本の鉛直バネ定数 ($1/m$)

ℓ ; フーチングの版巾 (m)

I ; $bh^3/12$ (m^4)

h ; フーチング版の厚さ (m)



この β の係数に版の巾 (ℓ) を乗じた、 $1/\beta\ell$ の無次元化された係数を影響係数として採用する。

ここに $1/\beta\ell$ の係数は、 $1/\beta\ell \rightarrow \infty$ にて版は剛体挙動を示すという性質のもので、施工例あるいは、一般に考えられるフーチングの形状より判断して適用すると、 $0.4 \sim 0.8$ の範囲内に存在していると思える。

いろいろな構造形について、荷重分担係数と影響係数 $1/\beta\ell$ との関係につき種々検討を行ったが図-1 には、それらの結果一部であるクイ本数 5×5 の場合についての結果を示す。

図より明らかなように、各クイに負担される分担荷重は、 $1/\beta\ell$ により著しく異っており、特に①と⑥に分担されるクイ反力については、フーチング剛体として算定したクイ反力と比較して、かなりのバラツキがある。(荷重分担係数 = 1.0 の時が、フーチングを完全剛体として仮定したクイ反力に一致) これらの傾向は他のクイ本数が異なる構造形についても同様であり、 $1/\beta\ell$ が大きくなるに従い双曲線函数的に剛体変形に近づく事が顕著に表われている。

これらの事より、フーチングはかなり変形するのではないかと考えられる。

これまでは、フーチング版は全域にわたって曲げ剛性は一定であるとして解析を行っているが、一方現在対象としている橋脚基礎については、実際フーチング部と橋脚とが一体となっている構造形であり、その結合部の固定度が版の曲げ変形に拘束を与えるであろうことが予想される。

これをどの様に処理するかが問題になると思われることが、ここでは単純に、分布荷重が作用している載荷部領域について、その部分の曲げ剛性を高めることを、即フーチング版の厚さを増すことによって、検討を試みた。

図-2、3には、橋脚立ち上り部の版厚を h' とした時 $h'/h = 0.5$ 及び $h'/h = \infty$ の2caseの場合についての結果を示す。

これによると載荷部領域の剛性を増した効果が著るしく、特にその影響は $1/\beta l$ が小さい、即、一般に版が撓みや

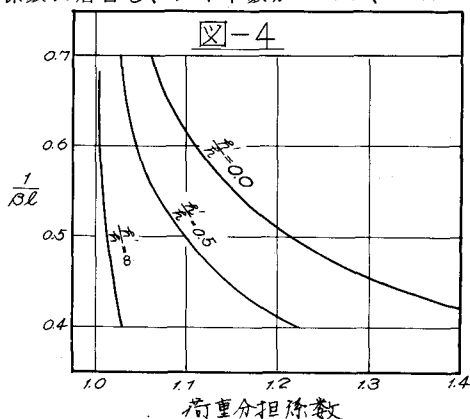
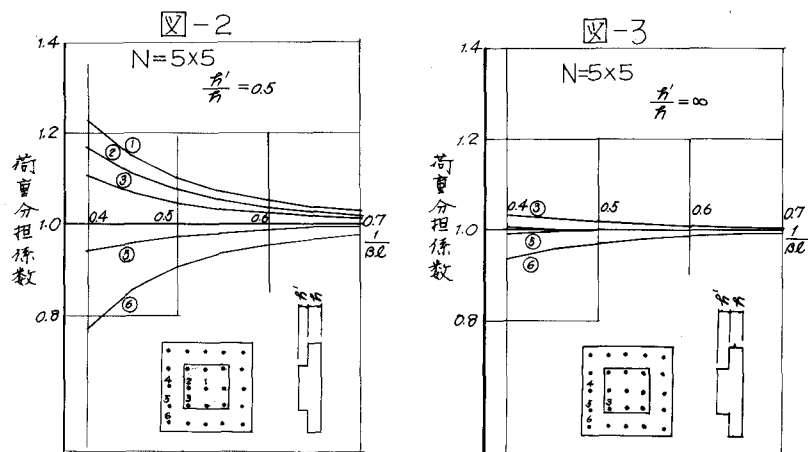
すい構造形程、顕著に表われている。更に載荷部領域の剛性を無限大に考えた結果によれば、フーチング版は殆んど剛体と仮定しても大差ない傾向が示めされている。

この事から載荷部領域の剛性を増すと、版の変形が著るしく拘束されるという事がいえる。

これらはいずれもクイ本数が 5×5 の場合についてのみ論じたものであるが、クイ本数が異なる構造形についても、全つたく同様な傾向が表われている。

各クイに負担されるクイ反力は、構造形の違いにより種々様々であるが、これらを結びつけてフーチング版の厚さを算定する一試案を提案してみた。

クイが受けもつクイ反力は、クイが中央に寄れば寄る程大きくなり、フーチング版中心点で最大クイ反力となる。そこでこのフーチング版中心点の荷重分担係数に着目し、クイ本数が 3×3 、 4×4 、 5×5 及び 6×6 の4種につき、あわせて検討するとこれら荷重分担係数は、いずれも、クイ本数には無関係に、ある一定値を有しており、 $1/\beta l$ という影響係数のみにより一義的に決定される事が明らかとなった。換言すれば、クイ構造形には無関係にフーチング版中心点の荷重分担係数に着目して、その位置の荷重分担係数を任意に定めれば、その時版に要求される影響係数 $1/\beta l$ が定まるという事である。図-4にはこの関係図を示す。



横軸には、フーチング版中心点の荷重分担係数を、縦軸には、変形状を表す、 $1/\beta l$ を示す。

参考までに、この関係を最小2乗法により、函数形として求めれば次のようになる。

$$\frac{h'}{h} = 0.0 \quad \frac{1}{\beta l} = \frac{1}{12.9} \times \frac{1}{(n-1)^{0.271}}$$

n : フーチング版中心の荷重分担係数

$$\frac{h'}{h} = 0.5 \quad \frac{1}{\beta l} = \frac{1}{1.347} \times \frac{1}{(n-1)^{0.259}}$$

版に要求される、影響係数 $1/\beta l$ が明らかとなれば、数値計算より版厚 h は算出されるが、これらを求める関連図表を図-5-1, 2, 3, 4に示す。

以上述べた、フーチングの厚さを算定する一試案を要約すると次の通りとなる。

- 1) 設計者が、フーチング版中心点の荷重分担係数を任意に定める。
- 2) 図-4より荷重分担係数に従って、その時フーチング版に要求される影響係数 $1/\beta l$ を求める。
- 3) クイ本数、フーチング巾(l)、及びクイのパネ定数(k_v)、等の構造形が定まると、図-5より $(1/\beta l)$ に $(l)^{-1/4}$ を乗じた数値を縦軸にとり、パネ定数の値に従ってフーチング巾(l)との比 h/l を横軸より読みとり、版厚 h が決定される。

図-5-1

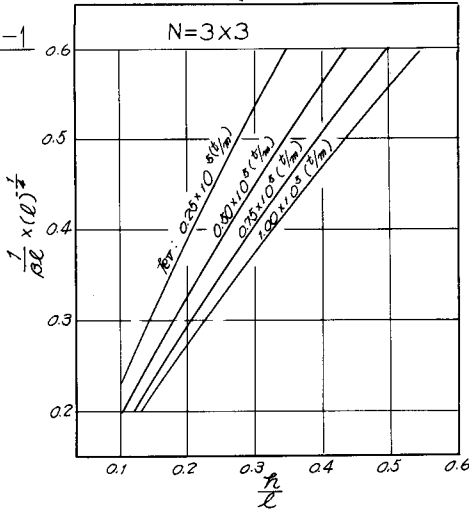


図-5-2

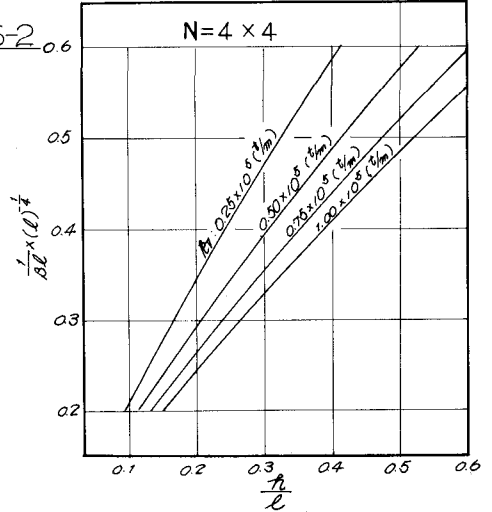


図-5-3

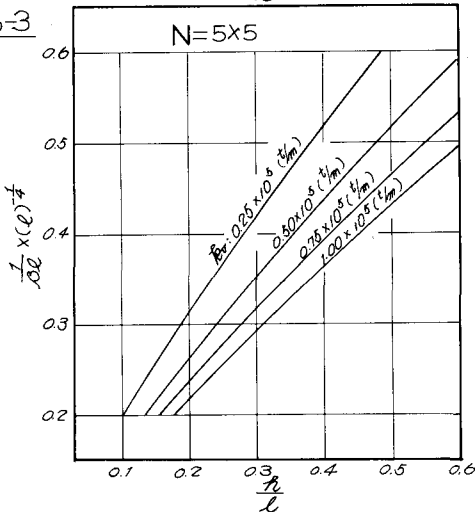


図-5-4

