

有限要素解析法によるゴム支承を用いた RC 橋脚の P- δ 効果

温 留漢¹ ・ 田中 伸²○

¹工博 新日本技研株式会社 技術部 (〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23)

²工修 新日本技研株式会社 東京設計部 (〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23)

現在、橋梁の耐震設計では、材料の非線形性を考慮した動的解析法が用いられているが、幾何学的な非線形性 (P- δ 効果) についてほとんど無視されている。しかし、ゴム支承を用いた橋梁では、大地震時には大きな水平変位が生じ、橋脚には大きな偏心圧縮となり、そのため、橋脚の変位はこれを考慮しない場合より大きくなると考えられる。本論文では橋長 230m の 5 径間連続橋の中間鉄筋コンクリート (RC) 橋脚を対象とし、材料非線形と幾何学的な非線形を考慮した弾塑性 2 次元有限変位解析を行い、幾何学的な非線形を無視した弾塑性 2 次元微小変位解析結果と比較して、P- δ 効果は鉄筋コンクリート橋脚にどの程度の影響を与えるかを検討したものである。

Key Words: P- δ , Pile, Geometry, Reinforced concrete, Solid Element

1. はじめに

現在、橋梁の耐震設計では、材料の非線形性を考慮した動的解析法が用いられているが、幾何学的な非線形性 (P- δ 効果) についてほとんど無視されている。しかし、ゴム支承を用いた橋梁では、大地震時には大きな水平変位が生じ、橋脚には大きな偏心圧縮となり、そのため、橋脚の変位はこれを考慮しない場合より大きくなると考えられる。本論文では橋長 230m の 5 径間連続橋の中間鉄筋コンクリート橋脚を対象とし、材料非線形と幾何学的な非線形を考慮した弾塑性 2 次元有限変位解析を行い、幾何学的な非線形を無視した弾塑性 2 次元微小変位解析結果

と比較して、P- δ 効果は鉄筋コンクリート橋脚にどの程度の影響を与えるかを検討したものである。動的解析に使われている解析ソフト DANA2E による解析結果との比較検討も行った。

2. 解析対象とした鉄筋コンクリート橋脚

解析対象とした橋梁一般図を図 1 に、解析対象とした鉄筋コンクリート橋脚断面図と断面配筋を図 2 と図 3 に示す。

対象とした橋脚は、図 1 に示すように橋長 230m の 5 径間の耐震設計基準に従って設計されたものである。いずれの橋脚は単柱式であり、断面形状は四

方形である。材料及び鉄筋径は表 1 に示す。

解析対象の橋脚を P- δ 効果の影響がより大きいと考えられる P 2 橋脚とした。当該橋脚が地震時に支持する上部構造重量、すなわち死荷重反力は 1981.0KN である。

表－1 コンクリート・鉄筋の材料特性 単位：N/mm²

種類	規格		弾性係数
鉄筋	D51	SD345	2.1×10^5
コンクリート	$\sigma_{ck}=24$		2.5×10^4

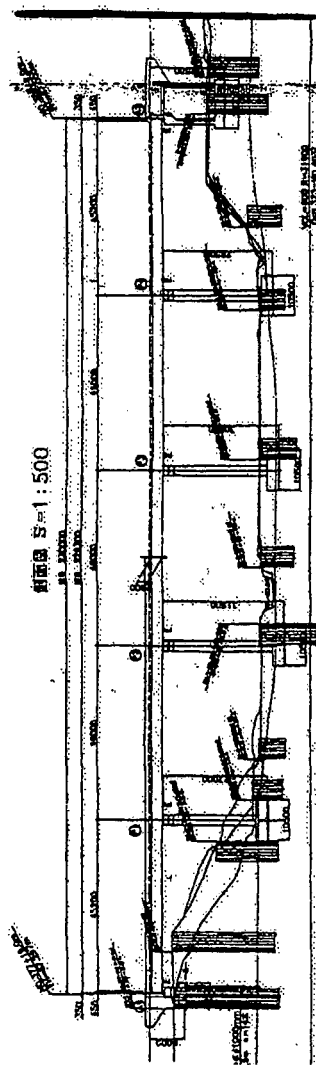


図 1 橋梁一般図

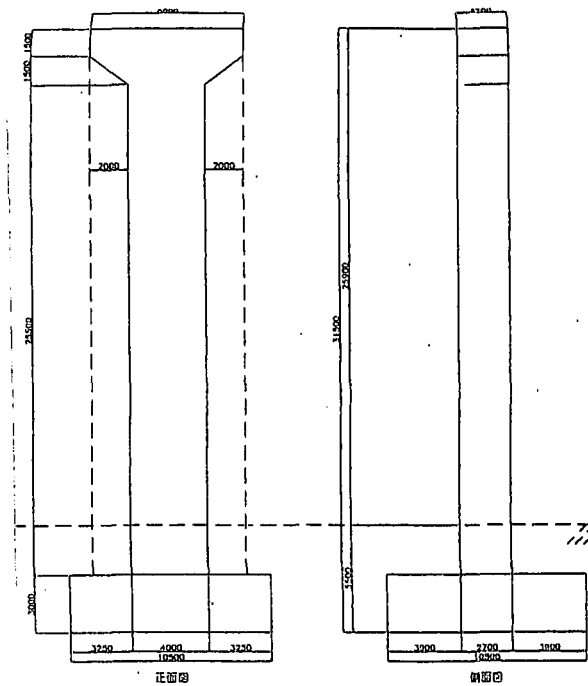


図 2 橋脚断面

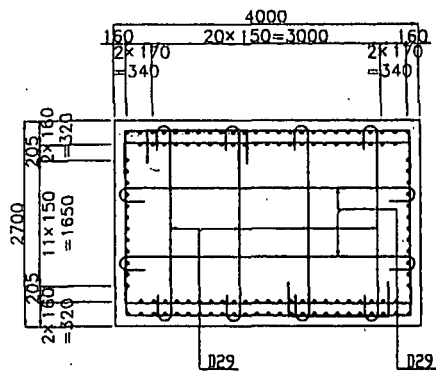


図 3 断面配筋図

3. 解析方法及び解析モデル

① 有限要素モデル

軸力及び水平変位の積からなる付加曲げモーメントによる P- δ 効果が、荷重変形関係に及ぼす影響について検討するため、材料非線形と幾何学的な非線形を考慮した弾塑性有限変位解析を行い、幾何学的な非線形を無視した弾塑性微小変位解析の結果と比較した。

橋脚の有限要素モデルは、図 4 に示すように、コ

ンクリートには2次元の平面応力要素要素、鉄筋には軸力のみを伝達する2次元の埋め込みトラス要素を使用した。トラス要素の節点はコンクリート要素と共有させた。これは鉄筋とコンクリートとの間に完全付着を仮定したことになる。2次元解析における奥行き幅として柱の幅とした。ゴム支承には弾塑性軸バネ要素を使用した。境界条件としてコンクリート部と鉄筋部ともに橋脚基部を完全固定した。でモデル化して基部を完全固定とした。

② 材料モデル料

コンクリート材料には図の応力-ひずみ関係は、図5に示すように道路橋示方書で規定されたタイプII地震動に対する式を用いた。コンクリートの引張り強度を0とし、コンクリートは引張り応力を負担しないものと仮定した。また、かぶりコンクリートは、ひずみが終局ひずみを超えるひずみにおいて応力を負担しないと仮定した。

鉄筋にはフォンミーゼスの降伏条件に基づく弾塑性モデルで、図6に示すようなバイリニア型の応力-ひずみ関係を設定した。

③ 荷重

橋脚頂部には柱全断面の上部工死荷重反力に相当する一定の軸力方向分布力を加え、その状態で柱の頂部のバネに水平方向の力を負荷した。

④ 解析法

解法は微小変位と有限変位を仮定した静的解析である。非線形平衡方程式の解法にあたっては、荷重増分法により、修正 Newton - Raphson 法を用いて行った。

4 解析結果検討

図7は耐震設計基準によって設計された鉄筋コンクリート橋脚について、慣性力作用位置における水平力と水平変位の関係を示したものである。図中

一点鎖線は材料非線形と大変形を同時に考慮した場合、実線は材料非線形を考慮したが、幾何学非線形は無視した微小変位解析の場合を示している。P-δ効果が考慮されるのは大変形を考慮した場合であり、大変形を考慮した場合と微小変位解析を用いた場合を比較することでP-δ効果の影響を調べる。着目するのが初降伏点とゴム支承のせん断変位時点である。

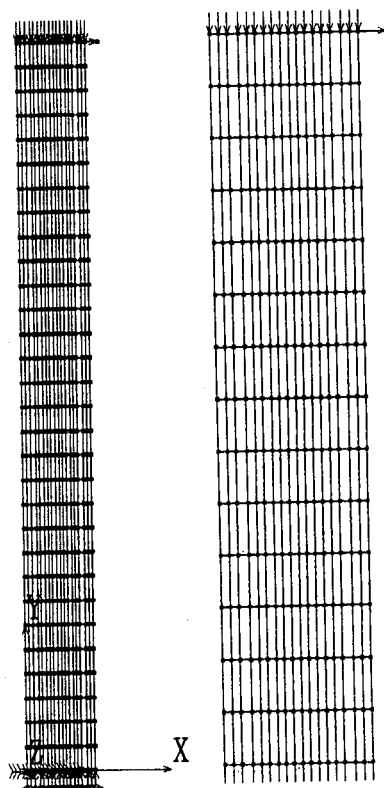


図4 有限要素モデル

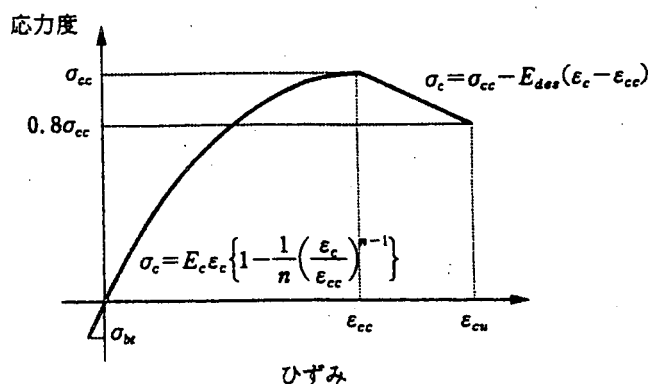


図5 コンクリート材料の応力-ひずみ曲線

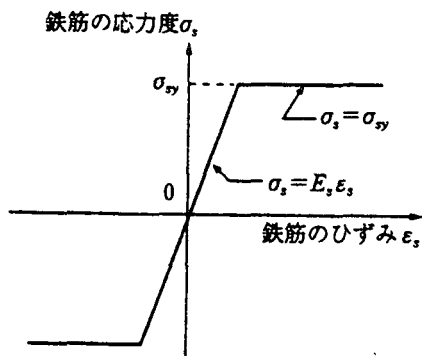


図6 鉄筋材料の応力-ひずみ曲線

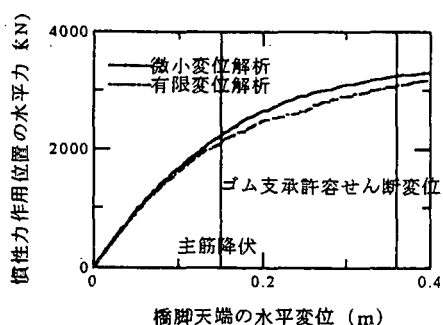


図7 水平力-水平変形曲線

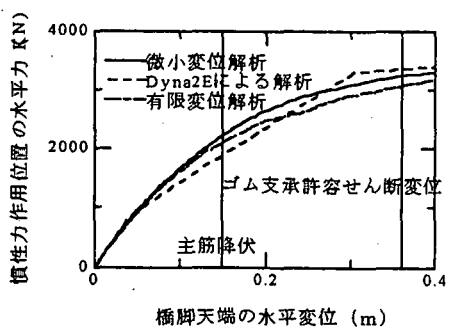


図8 水平力-水平変形曲線の比較

図7によって、橋脚に対して、初降伏を過ぎてから影響が大きいことがわかる。ゴム支承せん断許容水平変位時における慣性力作用位置の水平変位は、0.37m程度で、水平力が約3240kNである。

せん断力に着目すると、大変形を考慮した場合と

微小変位での解析した場合とで、初降伏時の水平力の差は1%程度で、ゴム支承せん断許容変位時で3%程度となった。幾何学的な非線形による影響は小さいことがわかった。

また、対象橋脚を非線形梁部材でモデル化し、柱基部を固定としたモデルで、Dyna2Eソフトによる解析も行った。図8はDyna2Eソフトによる解析結果と有限要素法による解析結果との比較である。その結果、微小変位解析による結果とほぼ一致した結果が得た。

5 まとめ

高さが28.5mのゴム支承を用いたRC橋脚に対して、材料非線形と幾何学的な非線形を考慮した有限変位解析と幾何学的な非線形を無視した微小変位解析結果との水平力-水平変位関係に現われるP-δ効果の違いを解析的な検討した結果、次のようなことがわかった。

- ① 主筋降伏するまでは影響はないと言える。
- ② ゴム支承の許容値の水平変形時での耐力の手差がわずか3%となり、鉄筋コンクリート橋脚に対しては幾何学的な非線形の影響は小さい。
- ③ 鉄筋コンクリート橋脚を部材モデルで解析した結果と有限要素法とはほぼ一致し、部材モデルでの解析はより簡単かつ効率は高いである。

参考文献

- 1) 岡村 甫・前川広一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則、技報堂出版、1991
- 2) 岡村 甫・前川広一：鉄筋コンクリートにおける非線形有限要素解析、土木学会論文集、No.360/V-3、pp.1-10、1985.8
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書（耐震設計編）