

学 位 論 文 題 名

Effect of Foundation Lift Off on the Seismic Response of Multi Degree of Freedom Structures

(多自由度構造物の地震応答に及ぼす基礎浮上がりの影響)

学位論文内容の要旨

地動を受ける建物の応答を求める際、建物の基礎は固定されていると仮定して動的解析を行う場合が多い。このことは近似的に構造物を支持する地盤が完全に剛で、基礎が地盤に密着していると仮定していることになる。このような近似を行わず、より現実に近い状態を模擬するため、地盤を半無限粘弾性体としたり有限要素系として取り扱う研究も数多く行われている。また大地震動時には構造物には大きな水平力が作用し、基礎に生じる転倒モーメントが時には重量による復元モーメントを超える場合もある。このような場合には、構造物の基礎形式によっては基礎底板や柱の下に位置する基礎フーチングに浮上がりが生じたりすることもある。

本研究の目的は、多自由度構造物の地震応答に及ぼす基礎浮上がりの影響を明らかにすることにある。このため解析に用いたモデルは、地盤と構造物の相互作用を考慮したものである。このモデルは各柱の端部に曲げバネが付いており、各層の変形は有限回転角で表され、柱は構造物が崩壊に至るまで回転することができるものである。地盤は半無限弾性体とし、地盤と構造物は水平・鉛直・回転の 3 つのバネとダッシュポットで連結されている。構造物全体の変形は、各層の回転角、基礎版の回転角、および基礎版の重心位置の水平・鉛直変位で表される。

数値解析によって構造物の形状と強度、地盤特性、地震動の強さが構造物の応答にどのように影響するかを示した。また基礎の浮上がりを考慮した解析結果と浮上がりを考慮しない場合との比較を行った。

この中の主要な結果を、以下の 7 章よりなる本論文に纏めた。

第 1 章は序論であり、本研究の目的とその背景、および本論文の構成について述べた。

第 2 章は、基礎の浮上がりを考慮した構造物の応答に関する既往の研究をまとめたもので、解析的研究と実験的研究の両方について触れた。

第 3 章は、解析に用いた地盤と構造物のモデル化について、その仮定と含まれているパラメータについて述べた。また構造物の運動を支配する微分方程式を誘導した。地盤と構造物の相互作用を考慮した場合の固有周期と、入力に用いた地震動の特性についても本章で述べた。

第 4 章は浮上がりを考慮した建物の応答解析について述べた。構造物の形状（建物階数と幅）、地盤剛性、構造物の強度をパラメータとした解析を行った。1995 年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台での加速度記録を水平速度が 100cm/s となるように係数を乗じて基準化し、鉛直成分にも同じ係数を乗じて両者を同時に入力させた。その結果、軟弱地盤の場合、硬質地盤に比べて浮

上がりが生じ難く、このため浮上がりは硬質地盤で特に重要となることが分かった。硬質地盤上の低層（4 層）建物で弾性応答とした場合には、構造物の応答は浮上がりによっていずれの層でも低減され、特に建物の幅が小さい場合に低減が大きかった。高層（10 層、16 層）になると、浮上がりによる応答の低減はある範囲の建物幅に限定されるが、全般的に 10 層の方が 16 層より低減効果が大きかった。建物の塑性応答を考慮した場合には、各層の応答塑性率が一様ではなくなり複雑な挙動をすることが分かった。降伏せん断力係数が小さい（ $C_y=0.125$ ）場合には、基礎の浮上がりによる影響は必ずしも一様でなく、応答回転角が大きくなる層もあれば小さくなる層もあった。降伏せん断力係数が大きくなる（ $C_y=0.5$ ）と弾性的の場合と同様な挙動を示し、浮上がりによって全層の応答回転角が減少した。

第 5 章では入力レベルを 100cm/s に基準化した種々の地震動を入力した解析結果について述べた。構造物を弾性と仮定した場合、低層建物においては、どの地震動によっても浮上がりによって応答ベースシャーは低減されるが、高層になると地震動によっては応答が大きくなることもあった。しかし増大の程度は小さく、一般に浮上がりの影響は小さかった。しかし、メキシコ地震による記録では高層建物について浮上りが大きくなり応答は小さくなるが、低層建物では低減効果が少ないことが分かった。構造物が弾塑性応答するとした解析結果では、低層よりも高層建物で浮上がりによる応答低減効果が大きかった。また、降伏せん断力係数が大きい（ $C_y=0.5$ ）場合の方が小さい（ $C_y=0.125$ ）場合よりも応答低減効果が大きかった。

第 6 章では基礎の浮上がりによって応答が増減する原因を究明するため、基礎および 1 層の応答時刻歴およびフーリエスペクトルについて、浮上がり有りとは浮上がり無しとのモデルについて比較検討した。その結果、浮上がりによって応答が低減される場合には、浮上がり無しモデルでは 1 次モードの明瞭なピークがスペクトルに見られるのに対して、浮上がり有りのモデルでは高次モードの寄与が大きくなり 1 次のピークが小さくなっていることが分かった。一方、浮上がりによって応答が増幅する場合には、浮上がり有りのモデルにおいて基礎と 1 層が互いに逆の位相で振動していることが分かった。

第 7 章は結論であり、本論文によって得られた研究成果をまとめると共に、今後の検討課題について述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 石 山 祐 二
副 査 教 授 城 攻
副 査 教 授 内 山 武 司
副 査 教 授 鏡 味 洋 史

学 位 論 文 題 名

Effect of Foundation Lift Off on the Seismic Response of Multi Degree of Freedom Structures

(多自由度構造物の地震応答に及ぼす基礎浮上がりの影響)

地震動を受ける建物の応答を求める際、建物の基礎は固定されていると仮定して動的解析を行う場合が多い。このような近似を行わず、より現実に近い状態を模擬するため、地盤を半無限粘弾性体としたり有限要素系として取り扱う研究も数多く行われている。また大地震動時には構造物には大きな水平力が作用し、基礎に生じる転倒モーメントが時には重量による復元モーメントを超える場合もある。このような場合には、構造物の基礎形式によっては基礎底版や柱の下に位置する基礎フーチングに浮上がりが生じたりすることもある。

本研究の目的は、多自由度構造物の地震応答に及ぼす基礎浮上がりの影響を明らかにすることにある。このため解析に用いたモデルは、地盤と構造物の相互作用を考慮したものである。このモデルは各柱の端部に曲げバネが付いており、各層の変形は有限回転角で表され、柱は構造物が崩壊に至るまで回転することができるものである。地盤は半無限弾性体をモデル化し、構造物は水平・鉛直・回転の 3 つのバネとダッシュポットで地盤と連結されている。数値解析を行い構造物の形状と強度、地盤特性、地震動の強さが構造物の応答にどのように影響するかを示している。また基礎の浮上がりを考慮した解析結果と浮上がりを考慮しない場合との比較を行い、浮上がりの影響について明らかにしている。本論文の各章の概要は以下に示す通りである。

第 1 章は序論であり、本研究の目的とその背景、および本論文の構成について述べている。

第 2 章は、基礎の浮上がりを考慮した構造物の応答に関する既往の研究をまとめたもので、解析的研究と実験的研究の両方について触れている。

第 3 章は、解析に用いた地盤と構造物のモデル化について、その仮定と含まれているパラメータについて述べ、構造物の運動を支配する微分方程式を誘導している。地盤と構造物の相互作用を考慮した場合の固有周期と、入力に用いた地震動の特性についても本章で述べている。

第4章は基準化した種々の地震動を入力した場合の浮上がりを考慮した建物の応答解析について述べている。構造物の形状（建物階数と幅）、地盤剛性、構造物の強度をパラメータとしている。その結果、軟弱地盤の場合、硬質地盤に比べて浮上がりが生じ難く、このため浮上がりは硬質地盤で特に重要となることが分かった。硬質地盤上の低層建物で弾性応答とした場合には、構造物の応答は浮上がりによっていずれの層でも低減され、特に建物の幅が小さい場合に低減が大きかった。高層になると、浮上がりによる応答の低減はある範囲の建物幅に限定される。建物の塑性応答を考慮した場合には、各層の応答塑性率が一様ではなくなり複雑な挙動をする。降伏せん断力係数が小さい場合には、基礎の浮上がりによる影響は必ずしも一様でなく、応答回転角が大きくなる層もあれば小さくなる層もある。降伏層せん断力係数が大きくなると、浮上がりによって全層の応答回転角が減少することなどを示している。

第5章では基礎の浮上がりによって応答が増減する原因を明らかにするため、基礎および1層の応答時刻歴およびフーリエスペクトルについて、浮上がり有りと浮上がり無しモデルについて比較検討している。その結果、浮上がりによって応答が低減される場合には、高次モードの寄与が大きくなり1次モードの応答が小さくなっていることが分かった。一方、浮上がりによって応答が増幅する場合には、浮上がり有りのモデルにおいて基礎と1層が互いに逆の位相で振動していることなどが示されている。

第6章は結論であり、本論文によって得られた研究成果をまとめると共に、今後の検討課題について述べている。

以上のように著者は、多自由度構造物の地震応答に及ぼす基礎浮上がりの影響に関して有益な新知見を得ており、建築構造学、地震工学の進歩に寄与するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。