

(123) 3次元モデルによる大スパン構造物の地震時斜め入射解析

大成建設(株) 正会員 坂下克之 同 福島研一
同 加納宏一

1. はじめに

大スパン構造物は限られた都市空間の有効利用という観点で注目を集めており、鉄道施設の上空利用計画が具体的に進められている。地震動の斜め入射に起因する基礎への入力位相差は大スパン構造物の耐震設計上、重要である。しかし現状では、それに着目した検討は十分に行われていない。そこで、100mの大スパン構造物を対象として、サブストラクチャー法を用いた3次元モデルによる斜め入射地震応答解析を実施し、斜め入射による大スパン構造物の3次元挙動を調べた。

2. 解析条件

図1に解析条件および解析モデルを示す。解析の対象とするのは、鉄道施設の上空を跨ぐスパン100mの構造物で、上部構造、支柱、基礎、地下街に大別される。著者らの既往の検討^{1) 2) 3) 4)}により、地下街が大スパン構造物の耐震上有効であるという結果が得られているので、本検討でも地下街を設けた。地盤は表層および支持層よりなる。上部構造は実際には多層の構造物であるが、解析では剛性が等価となるような2連ボックスカルバート形式のシェル構造にモデル化する。基礎、地下街はシェル構造に、支柱は梁構造に、地盤はソリッド要素にモデル化する。入力地震動はTAFT波のEW成分を支持層内で上昇する平面波として設定する。振幅は、鉛直入射時の地表最大速度が25kineとなる大きさとする。入射角は構造物の長手方向-鉛直方向面内で変化させる。解析ケースとして、SV波の0°入射、SV波の30°入射、SH波の0°入射、SH波の30°入射、の4通りを設定する。ここで、振動方向が長手方向であるものをSV波、振動方向が奥行方向であるものをSH波と称する。

3. 解析手法

サブストラクチャー法による地盤-構造物一体斜め入射解析の解析手法を図2に示す。まず(a)に示すように、成層地盤の斜め入射解析を行い、地盤-構造物応答解析時の解析モデル境界位置での変位と境界に作用する表面力(以下切欠き力と称す)を算定する。この算定方法は重複反射理論を拡張して、地震動の斜め入射時に各層間で水平・鉛直両方向に対して変位と応力が連続条件を満たすように定式化したものである。続いて(b)に示す地盤-構造物応答解析を行う。モデル境界に地盤パネに相当する地盤インピーダンスを取付け、(a)の成層地盤斜め入射解析で算定した変位と切欠き力をそれぞれ地盤インピーダンス端と境界面に作用させる。地盤インピーダンスは、地盤の質量密度と波動の伝播速度より算定される粘性定数を有する粘性要素を用い、境界上の隣り合う節点間の連成を考慮する。

4. 解析結果

(1) 2点間の相対変位

構造物上端、地表、支持層上面における2点間の最大相対変位を、構造物のない自由地盤の場合、構造物のある場合についてまとめたものを表1、表2に示す。自由地盤の地表では、100m離れた2点間では、SV波30°入射時には長手方向、鉛直方向でそれぞれ3.7cm、1.6cmの相対変位が、SH波30°入射時には奥行方向に2.9cmの相対変位が生じる。構造物がある場合には基礎および地下街の剛性によりそれらの相対変位を抑制する傾向にある。

(2) 加速度応答

SV波入射時の主要点の最大加速度分布を図3に示す。(a)の長手方向成分をみると、構造物では入射角30°は0°と比べて小さく70%程度である。これは、周辺地盤の応答をみると、地中深部では30°入射の方

が 0° 入射よりも大きい、地表付近では大小関係が逆転しており、その影響を受けるためと考えられる。

(b)の鉛直成分をみると、斜め入射時には入力動の鉛直成分の発生に伴い、構造物でも鉛直加速度が生じている。ただし定量的には、今回の検討条件ではそれほど大きな鉛直加速度の増幅はない。

SH波入射時の主要点の最大加速度分布を図4に示す。(a)の奥行方向成分をみると、入射角 30° と 0° の構造物の応答を比較した場合、斜め入射時に地震動が先に到達する側面では 30° は 0° よりも小さく、後に到達する側面ではその逆になっている。(b)の長手方向成分をみると、入射角 0° のときにはほとんど応答はないが、 30° になると応答が生じてくる。これは、SH波の斜め入射時には前述したように長手方向の支柱間で入力に位相差が生じ、構造物にねじれ振動が励起されるためである。(c)の鉛直成分は応答値、ケース間の差とも小さい。

SH波入射時の上部構造上面隅角部の応答加速度波形を図5に示す。入射角 0° のときは、奥行方向振動モードで振動するのみであるが、入射角 30° のときは長手方向にやや高振動数のねじれ振動モードによる振動が発生する。奥行方向の振動も低振動数の奥行方向振動モードに高振動数のねじれ振動モードが乗った形で振動していることがわかる。

(3) 支柱の断面力

SV波入射時の支柱の最大曲げモーメント分布を図6に示す。前述したように、入射角 30° の場合は地表付近での入力動が入射角 0° の場合と比べて低下することに伴い、曲げモーメントも70~80%と小さくなっている。

SH波入射時の支柱の最大曲げモーメント分布を図7に示す。奥行方向曲げモーメントは各ケース間で顕著な差異はみられない。長手方向曲げモーメントについては、斜め入射時には前述した構造物のねじれ振動により、定量的には小さいものの下端付近で応答が発生している。

5. まとめ

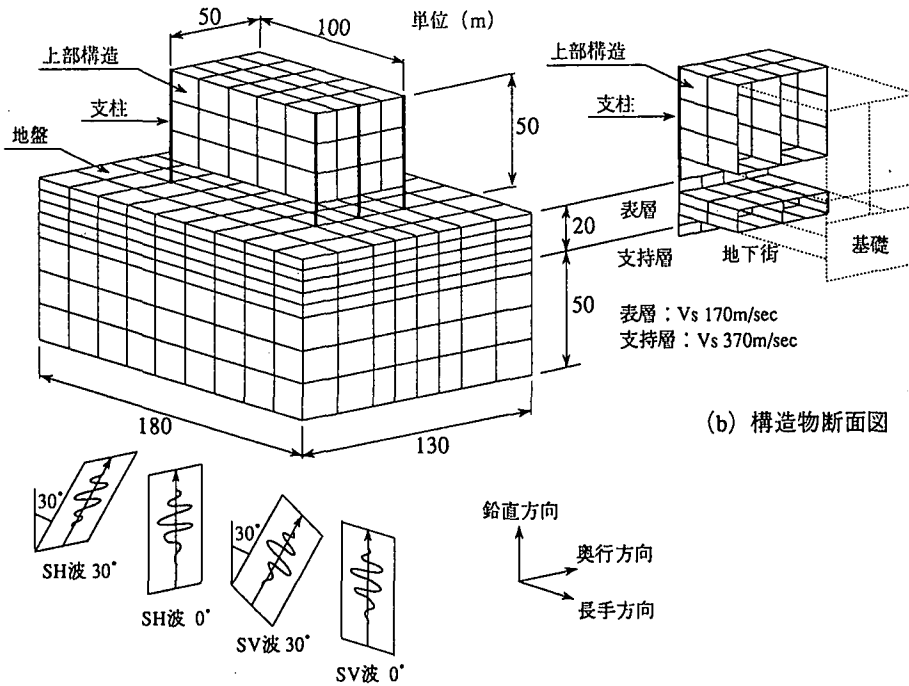
100mの大スパン構造物を対象として、サブストラクチャー法を用いた3次元モデルによる斜め入射地震応答解析を実施し、大スパン構造物の斜め入射による3次元的挙動を調べた。解析の結果、以下の知見が得られた。

- ・今回の解析条件では、斜め入射時には地震動は構造物基礎の両端に2~4cmのオーダーで鉛直および水平方向に相対変位をもって入射する。ただし構造物は基礎および地下街の剛性により、入力地震動の位相差を抑える方向に応答する。
- ・SV波の斜め入射時には地盤振動の鉛直成分に伴い、構造物も鉛直方向に応答する。
- ・SH波の斜め入射時には長手方向の支柱間の入力動の位相差により、構造物にねじれ振動が励起される。

今回の検討条件では、大スパン構造物の地震動の斜め入射時特有の挙動である、構造物の上下動応答やねじれ振動は、それにより部材の設計に影響を与えるほどのクリティカルなものではなかった。しかし地下街の有無や上部構造など構造物側の設計条件が変化・入力地震動の周波数特性の変化等により、これらの影響が増大する可能性もあるため、大スパン構造物の耐震検討においては、地震動の基礎への位相差入力等に留意する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 坂下、泉、加納、盛口；大スパン構造物の地下街の耐震効果について、土木学会第22回地震工学研究発表会講演概要、pp. 471~474、1993。
- 2) 盛口、泉、加納、坂下；基礎の相対変位による大スパン構造物の耐震検討、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集 第1部、pp. 378~379、1993。
- 3) 坂下、加納、盛口、立石、泉；大スパン構造物における地下街の耐震上の有効性について、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集 第1部、pp. 1642~1643、1994。
- 4) 坂下、加納、盛口、立石、泉；大スパン構造物の斜め入射による地震時挙動、第9回日本地震工学シンポジウム論文集、pp. 1153~1158、1994。



(a) 全体図

(b) 構造物断面図

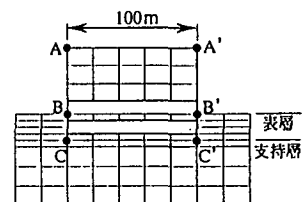
図1 解析条件および解析モデル

表1 SV波30°入射時の2点間の最大相対変位 単位 (cm)

		自由地盤	構造物
A-A'	長手方向	—	0.1
	鉛直方向	—	1.2
B-B'	長手方向	3.7	0.3
	鉛直方向	1.6	1.2
C-C'	長手方向	2.6	1.1
	鉛直方向	1.2	1.2

表2 SH波30°入射時の2点間の奥行方向最大相対変位 単位 (cm)

	自由地盤	構造物
A-A'	—	2.5
B-B'	2.9	1.8
C-C'	2.2	1.9



(b) 地盤—構造物応答解析

図2 解析手法

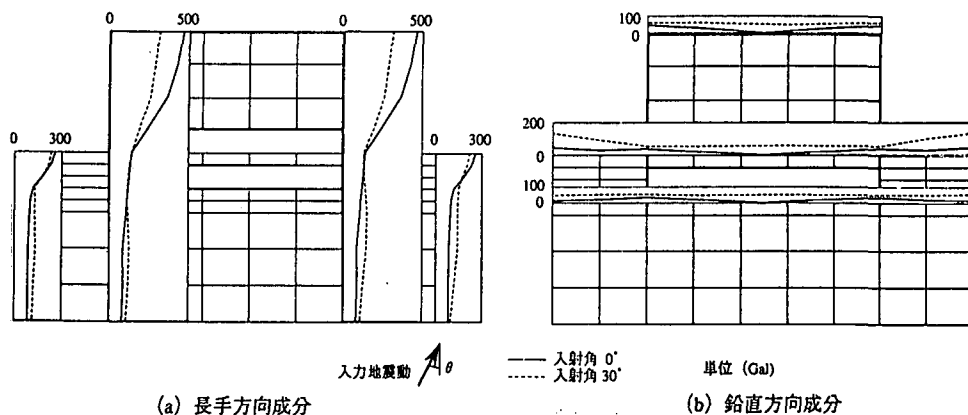


図3 SV波入射時最大加速度分布

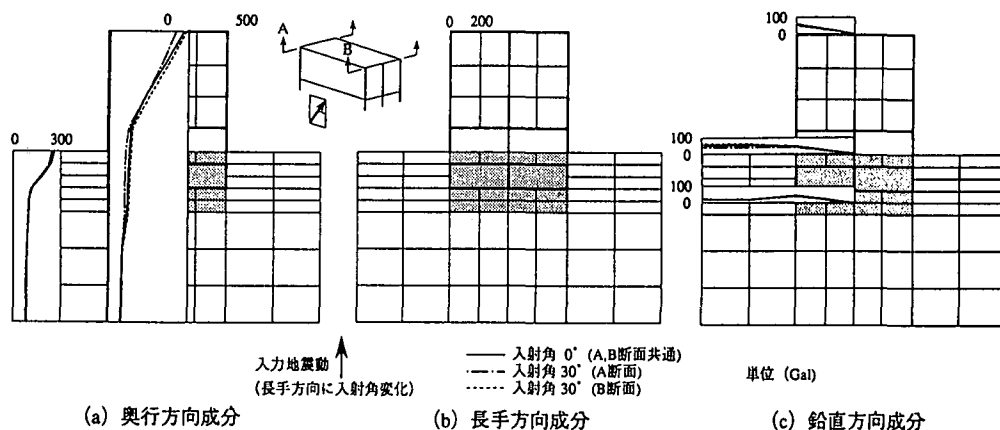


図4 SH波入射時最大加速度分布

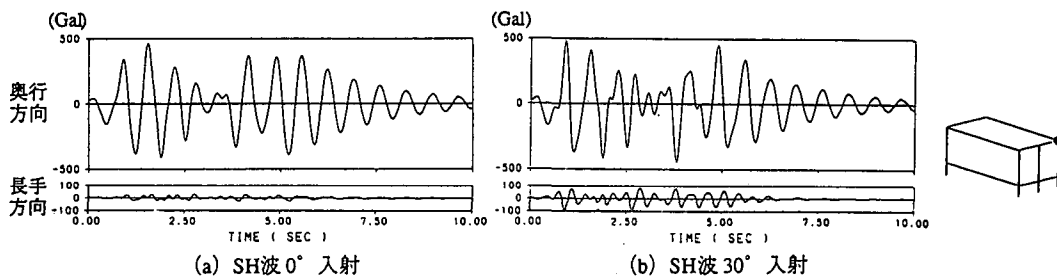


図5 上部構造隅角部の応答加速度波形

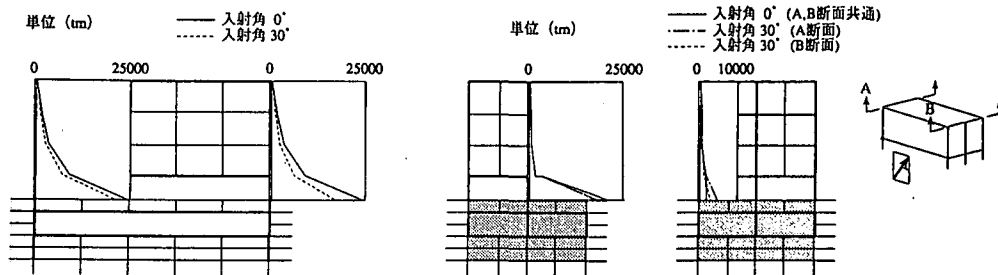


図6 SV波入射時最大曲げモーメント分布

図7 SH波入射時最大曲げモーメント分布