断層変位を受ける地盤-構造物の相互作用解明のための基礎的検討

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 〇小野寺 周 坂井 公俊 豊岡 亮洋

1. はじめに

活断層との交差が避けられない位置において構造物を設 計する場合には、地震作用として、通常の耐震設計¹⁾で考 慮する慣性力の影響だけでなく、断層変位の影響も考慮す る必要がある.しかしながら、断層変位を受ける地盤と構 造物間の相互作用は十分に解明されておらず、断層変位を 考慮した場合の構造物の応答評価法には任意性がある.例 えば、安全側への配慮として相互作用ばねを線形でモデル 化した上で、断層変位をばね節点に作用させる方法も考え られるが、この場合は構造物の応答を過大評価する可能性 もある.そこで本検討では、地盤-構造物基礎からなる 2 次元 FEM モデルを用いて、慣性力と断層変位それぞれの作 用を模擬した静的非線形解析を実施し、各作用条件におけ る地盤-構造物の相互作用を比較した.その結果から、断 層変位を受ける場合に考慮する相互作用ばねの特性につい て検討した.

2. 検討条件

本検討では,深さ 50m,幅 100m の一様地盤上に形式の 異なる基礎を設置した4ケースの2次元 FEM モデル(Casel ~Case4)を構築した(図1,図2).地盤と基礎はいずれも 平面ひずみ要素でモデル化した.地盤の物性値は表1に示 す値とし,非線形特性として Mohr-Coulomb による降伏条 件を設定した.一方,基礎は地盤に対して十分剛な物性値 を設定した.

構築した4つのモデルに対して,表2に示す境界条件を 設定した2ケースの解析をそれぞれ実施した.表中の"*" は図2に示す基礎形式ごとの番号1~4である.Case*-Aで は基礎天端に鉛直下向きの強制変位を作用させ,慣性力に 対して地盤が抵抗する状態を模擬している(図1青矢印の 作用).一方,Case*-Bでは地盤底面に鉛直上向きの強制変 位を作用させ,縦ずれの断層変位に対して基礎が抵抗する 状態を模擬している(図1赤矢印の作用).これにより,前 者では慣性力を受けた地盤-構造物の相互作用,後者では 断層変位を受けた相互作用を評価する.なお,強制変位量 は0.5mとし,これを100ステップに分割して載荷した.

また、相互作用の評価方法として、地盤と基礎間の鉛直



水平変位を基礎に下向きの強制変位(慣性力の作用)水平変位を

図2 対象とした基礎形状

表1 物性値の設定		
地盤	せん断波速度(m/s)	200
	ポアソン比	0.3
	変形係数(kN/m ²)	1.69795×10 ⁵
	粘着力(kN/m²)	50
	内部摩擦角(deg)	0
	膨張角(deg)	0
	降伏条件	Mohr-Coulomb
	メッシュサイズ(m)	0.25×0.25,0.5×0.5
基礎	ヤング率(kN/m ²)	2.0×10 ⁹
	ポアソン比	0.2
	メッシュサイズ(m)	0.25×0.25

表2 境界条件の設定

ケース	地盤(底面)	基礎
Case*-A	鉛直変位を	鉛直下向きに
	固定	0.5m の強制変位
Case*-B	鉛直上向きに	鉛直変位を
	0.5m の強制変位	固定

キーワード 断層変位,地盤-構造物の相互作用,相互作用ばね,耐震設計 連絡先 〒186-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター 反力と強制変位量の関係に着目した.具体的には,強制 変位に対して地盤-基礎境界の節点に生じる鉛直反力 の総和を算定し, Case*-A と Case*-B の結果を比較する.

3. 断層変位を受ける構造物の相互作用

1-363

まず,直接基礎形式である Casel における鉛直反力– 強制変位の関係を図3に示す.図3より, Casel-A, Casel-Bの結果は一致している.ここで,強制変位0.5m 載荷 時における基礎周辺地盤の鉛直ひずみ分布を図4に示す が,A,B両者のひずみ分布は一致しており,地盤の応 力状態が等しいことが分かる.

次に,杭基礎形式である Case2~Case4 の結果を図5に 示す.図5より,いずれのケースにおいても Case1 と同 様に,A,B での鉛直反力-強制変位の関係は一致して いる.以上より,慣性力に対する地盤の抵抗特性と断層 変位に対する基礎の抵抗特性は基礎形式によらず等し く,それぞれの作用を受けた場合の相互作用は等しいこ とが分かった.

また,図5より,Case2(杭1本)とCase3(フーチン グ+杭1本)では,Case3の鉛直反力がより大きいこと が分かる.これは当然ではあるが,杭基礎におけるフー チング部分も慣性力と断層変位に抵抗するためである. ここで,通常の耐震設計で慣性力による構造物の応答値 を算定する場合,杭基礎では安全側への配慮として地盤 ーフーチングの相互作用を無視している.しかしなが ら,本結果を踏まえると,断層変位を受ける構造物の応 答値を算定する場合は,応答を過小評価しないように杭 基礎でもフーチングの地盤抵抗を考慮する必要がある.

4. 断層変位を受ける構造物の相互作用ばねの設定方法

3章の結果を踏まえて、断層変位を受ける構造物の応 答値を算定する際の相互作用ばねの設定方法を図6のよ うに提案する.まず、相互作用ばねには通常の耐震設計 と同様の非線形特性²⁾を設定してよい.また、杭基礎の 場合、断層変位に対するフーチングの抵抗を考慮する相 互作用ばねも設定する.このときは、直接基礎と同様の 非線形特性を与えれば良いと考えられる.この方法に基



図6 断層変位を受ける構造物の相互作用ばね

づいて構築したモデルに対して、相互作用ばねの節点に断層変位を作用させる解析を行うことで、断層変位を受ける地盤-構造物の相互作用を考慮した応答を評価できる.

なお、本検討では縦ずれ断層を模擬した解析を実施し、鉛直方向の相互作用に着目して検討を行ったが、地盤も しくは基礎の抵抗特性の比較という観点からは、作用の向きによって相互作用の影響は変わらないと考えられる. そのため、得られた知見は横ずれ断層を対象とした構造物評価にも適用できると考えられる.

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計,2013. 2) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造 物等設計標準・同解説 耐震設計,2013.