

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560471
 研究課題名 (和文) 震源域における工学的基盤面の地震時変位と埋設管路の耐震性能への影響の評価
 研究課題名 (英文) Evaluation of earthquake-induced displacement of engineering bedrock in near-field and its effect on performance of buried pipelines
 研究代表者
 大町 達夫 (OHMACHI TATSUO)
 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授
 研究者番号：90126269

研究成果の概要：

本研究では、①強震加速度記録を積分し地盤の動的変位を算出する、②GPS 記録を PPP 法により解析する、③3D-BEM による数値シミュレーションを行う、という 3 つの手法により、震源域における地盤変位を算出・評価した。さらに、得られた地盤変位をもとに震源域における地震時地盤ひずみの評価を行った。その結果、相対的に地盤ひずみが大きな地域と埋設管路被害発生地点が良好な対応を見せることが示された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学、地震工学、維持管理工学

キーワード：地震動、強震動、震源域、工学的基盤、埋設管路、地盤変位、地盤ひずみ、耐震性能

1. 研究開始当初の背景

上水道、下水道、ガス等の埋設管路の地震時挙動は、周辺地盤の変位やひずみに支配されることが知られている。そのため、埋設管路の耐震性能を検討する上で、地震時の地盤変位や地盤ひずみを適切に評価す

ることは非常に重要と考えられる。実際、埋設管路の耐震設計では、このような考えから応答変位法を用いることが基本とされており、地盤の変位やひずみが設計荷重とされている。

埋設管路の設計指針は、1995 年兵庫県南

部地震以降、いわゆるレベル2地震動の導入に伴って、従来の設計速度応答スペクトルや設計変位量が改訂され、設計値が大幅に引き上げられた。しかし現行の耐震設計法には、なお幾つかの重要課題が残されている。

たとえば、2004年新潟県中越地震の震源域を対象として地表面地盤変位量を推定し、上水道管路の現行設計指針の設計変位量と比較してみた結果、現行設計指針による地盤変位量は、実際の地表面変位量よりも格段に小さいことが明らかになった。また、1995年兵庫県南部地震の震源域において類似の比較を行った結果も、同様であった。さらに2000年鳥取県西部地震の震源域に位置するダム基礎岩盤で観測された地震記録を解析した結果によれば、震源近傍では堅固な岩盤でも地震時に並進と回転の変位成分を示し、地震後にも有意な永久変位が残留することが確認された。これらをもとに、震源域での地表面変位量の構成について、次のような仮説を考えた。すなわち、震源域においては表層地盤だけでなく工学的基盤面($V_s \geq 300\text{m/sec}$)においても、有意な動変位と永久変位が発生し、それらが表層地盤の相対変位と同程度あるいはそれ以上になる可能性がある。

地震被害が最も顕著な、震源域での地震動や地盤変位の特性を観測記録に基づいて実証的に解明することは、本研究分野の基本的な重要課題である。日本では、1995年兵庫県南部地震以降、全国的規模で展開されたK-netやKik-netなどにより多数の強震計が平面的あるいは立体的に群列配置され、近年の被害地震の震源域で得られた観測記録が一般公開されている。震源域における工学的基盤での強震動特性に関する研究は近年、増加傾向にあるが、地盤変位特性やひずみ特性に注目し、それを定量的に解明した研究例は未だ少ない。

2. 研究の目的

埋設管路の設計指針では、応答変位法に用いる表層地盤の地盤変位量を、次のような仮定のもとで算定することとしている。

- ①表層地盤を単一地層に置換した一様地盤と見なす。
- ②表層地盤の1次の振動モードのみを考慮する。
- ③工学的基盤面における変位量を0とする。

我々の一連の研究成果によれば、実際の地震時地盤変位量と耐震設計指針から与えられる計算値との大きな相違は、主として

上記の③に由来し、震源域の工学的基盤面での変位量を適切に評価できれば両者の相違は解消できる可能性が高い。そこで本研究では、震源域における埋設管路の現行耐震設計法を、より洗練されたものに改良することを最終目標に、震源域の工学的基盤における地震時の地盤変位特性を観測記録などをもとに実証的に解明し、それが埋設管路の耐震性能にどの程度の影響を及ぼすのかを評価することを目的とする。

3. 研究の方法

実証性を重視する観点から、本研究では、2007年能登半島地震と新潟県中越沖地震の震源域における地表と地下での強震記録や岩盤での強震記録、および地震による地表地盤変位の測量結果、さらに数値シミュレーションなどをもとに、工学的基盤面での動変位量と永久変位量について時空間分布を求める。次に、その時空間分布状況をもとに、地盤ひずみ量分布の時空間分布を算定し、そのひずみ量が埋設管路の耐震性能にどの程度影響するかについての評価を試みる。

本研究では、工学的基盤や岩盤で観測された加速度強震記録を積分して地盤変位量を推定する。この方法では、通常、積分値が発散して安定した正確な数値が得られないが、本研究組織では既にこの困難を克服して高精度に積分する方法（下記のEmmanuel *et al.*による方法）を開発している。本研究ではその積分方法を適用するが、この手法について十分な検証は行われていない。

一方、近年、GPS (Global Positioning System) 観測技術が急速に発達し、日本では国土地理院によるGPS連続観測システム網(GEONET)が整備されてきた。これに伴い、強震計に比べて長周期成分を確実に捉えられるGPSを変位地震計として利用する動きが活発化している。

以上の様な状況を踏まえ、本研究では以下の3つの手法で震源域における地盤変位を算出・評価する。

- ①強震記録にEmmanuel *et al.* (2005)が開発した積分補正手法を適用する。
- ②GPS (1Hz-GPS, 30sec-GPS) 記録を精密単独測位法により解析する。
- ③三次元直接境界要素法(3D-BEM)による数値シミュレーションを行う。

これら3つの手法で算出された地盤変位をもとに、震源域における地盤変位の算出と、Emmanuel *et al.*の手法（以下、Emmanuel

積分と略称)の妥当性を検討する。

さらに、能登半島地震(2007)を対象に上記の手法で得られた変位を用いて、震源域における面的な地盤変位を求め、地盤ひずみを推定し、埋設管路被害との関連を検討する。

4. 研究成果

本研究では、①強震記録に Emmanuel 積分を適用する、②GPS 記録を PPP 法により解析する、③3D-BEM による数値シミュレーションを行う、という3つの手法により、震源域における地盤変位を算出・評価した。さらに、得られた地盤変位をもとに震源域における地震時地盤ひずみの評価を行った。得られた成果を以下に示す。

1) 2007年新潟県中越沖地震を対象に、強震記録と1Hz-GPS記録を用いて地盤変位を算出した。その結果、Emmanuel積分を用いることで積分値が発散することなく変位を得る事ができた。また、1Hz-GPS記録からPPPにより変位を算出したところ、動的変位だけでなく、長周期のオフセットもよく捉えられることが確認された。ただし、基線が複数回ずれた可能性のある地点では、両者に差異が見られた。

2) 2007年能登半島地震を対象に、強震記録と30sec-GPS記録を用いて地盤変位を算出した。その結果、Emmanuel積分を用いることで値が発散することなく変位を得る事ができた。また、30sec-GPS記録からPPPにより変位を算出し、強震記録から得た永久変位と比較を行った。その結果、両者は全体的に良い対応をみせたことから、Emmanuel積分によって得られる変位は概ね正確であると言える。ただし、液状化が報告されている能登島周辺のように、基線が複数回ずれた可能性のある地点では、両者の向きに差異が見られた。

3) 2007年能登半島地震を対象に、境界要素法による数値シミュレーションを行った。その結果と、強震記録にEmmanuel積分を適用して算出した変位波形を比較したところ、全体的にみて、S波の立ち上がりや振幅、波形の消長などについて両者は良く一致することが確認された。

4) 2007年能登半島地震を対象に、数値シミュレーションによって得られた永久変位ベクトルと、強震記録と30sec-GPS記録から得た永久変位ベクトル、の3つを比較した結果、3つの方法で得た永久変位ベクトルは全体的に良い対応をみせた。これにより、Emmanuel積分によって算出した変位は概ね良好であることが示されたとともに、能登

半島地震の際の面的な地盤変位を得ることが出来た。

5) 2007年能登半島地震における面的な地盤変位をもとに、地盤ひずみを推定した。推定されたひずみは、震源断層直上で最大260 μ 程度となり、震源に近い富来で最大110 μ 程度となった。また、最大ひずみの大きな地域が震源断層延長方向である北東と、断層直交方向である南東に向かって分布し、能登島など富山湾側の地域では小さくなった。さらに、推定されたひずみ分布と、シミュレーションによる水平動最大変位をもとに、地盤ひずみと埋設管路被害の関連について検討した。検討には、各被害地域の被害率も参考にした。その結果、最大ひずみと永久ひずみの両方の値が大きかった門前町の被害率が最も高いことや、志賀町と輪島の被害率が七尾よりも高いことがわかり、相対的にひずみが大きな地域と埋設管路被害発生地点が良好な対応を見せることが示された。

以上のように、本研究では震源域における地盤変位を3種の方法で求め、その妥当性を検証した。当初は、工学的岩盤での地震時地盤変位も評価する計画であったが、地表での地盤変位と埋設管路への影響評価にとどまっている。今後、上記した課題とともに、Kik-netの記録に3種類の方法を適用するなどにより、残された課題の解明を目指す必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 震源域における埋設管路の地震被害と非液状化地盤の地震時変位との関連性、大嶽公康, 大町達夫, 水道協会雑誌, 77, 1, PP. 68-73, 2008, 査読無し
- ② 東工大レーザートンネルの地震時挙動における地震動と地震時ひずみの観測、水野剣一, 大町達夫, 井上修作, 土木学会年次学術講演会概要集, I-148, 2008, 査読無し
- ③ 数値シミュレーション及び、強震記録・GPS記録に基づく震源域における地震時地盤変位の評価, 井上修作, 村上陽一郎, 大町達夫, 日本地震工学会大会-2008 概要集, 32, PP. 21-22, 2008, 査読無し

[学会発表] (計 2 件)

- ① 浅い地盤に位置するトンネルの地震時ひずみに関する研究, 戸田忠友, 大町達夫, 井上修作, 第 33 回地震工学・応用地学に関するシンポジウム, PP. 51-52, 2009. 3. 19, 早稲田大学
- ② Near-field Earthquake Displacements of the Non-liquefiable Ground Relevant to Damage to Buried Pipelines, 大町達夫, 大嶽公康, The 5th Japan-US Workshop on Seismic Measures for Water Supply, 2007. 7. 11, San Francisco

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大町 達夫 (OHMACHI TATSUO)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授・
研究者番号 : 90126269

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

井上 修作 (INOUE SYUSAKU)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教務職員
研究者番号 : 50361762

(4) 研究協力者

大嶽 公康 (OHTAKE KIMIYASU)
日本上下水道設計株式会社・水道事業本部設計部・プロジェクト・エンジニア・