

学 位 論 文 題 名

十勝平野の長周期地震応答に関する研究

学位論文内容の要旨

観測記象は震源，伝播経路，および観測点近傍の構造の3つの影響を受ける．堆積盆地では，観測点近傍の地盤構造の影響（site effects）による実体波の多重反射や二次的な表面波の励起の現象が生じ，大振幅で継続時間の長い地震波が観測される．特に，2～3 kmの厚い堆積層を有する堆積盆地では周期1～10秒の長周期地震動にsite effectsが大きく現われる．この周期帯は近年増加している長大構造物の固有周期に相当するため，堆積盆地内での長周期地震動の挙動を明らかにすることは地震防災上の緊急の課題の一つである．しかし，このような研究は1970年代後半に始まったばかりであり，堆積層上での地震波が長い継続時間を持つことや表面波の発生メカニズムについては十分に解明されていない．本研究の目的は，厚い堆積層を有する十勝平野で強震動観測を行い，それをもとに，堆積盆地の長周期地震動応答を明らかにすることである．

北海道南西部に位置する十勝平野は，南北に100km，東西に50kmの広さを有する．十勝平野内の33箇所では，松島(1990)によって長周期微動探査からS波速度構造が推定されている．その結果によると，S波速度2.8～3.2km/sの基盤の深さは最深点で2000mを超え，基盤面でのS波のインピーダンス比は4.9の大きさになっている．

十勝平野の地震動応答特性を調査するため，平野のほぼ中央部の堆積層上にある帯広（帯広畜産大学構内）と岩盤上の茂寄（北海道大学地震予知観測地域センターの観測壕）に地震観測点を設置した．茂寄は帯広の約70km南に位置する．同時に，平野内の波の伝播特性を調べるために，帯広では直径約1.2kmの円内に5つの地震計を群列（アレイ）配置した．地震計には0.025～20.0Hzの周波数範囲で感度特性がフラットな広帯域速度型強震計を使用し，上下動と水平動2成分の地動を調査した．地震波形記録にはデジタルレコーダを使用した．記録はイベントトリガ方式による各観測点独

立方式とし、定期的にパソコンを用いてデータ回収を行った。このとき、各独立観測点の時刻の同時性を保つためにレコーダ内蔵の時計のずれを調査し、時刻の補正を行った。1991年7月から2年間の観測期間にはマグニチュードが3.6～7.8、震源の深さが0～489kmにわたる約110個の地震が記録できた。

十勝平野の地震動応答特性を調べるため、帯広と茂寄の観測記象を、①S波の増幅特性、②後続波の励起特性の二面から比較した。また、堆積盆地で励起される表面波を実体波入射によって発生する波(basin-induced surface waves)と入射した表面波のモード変換によって励起される波(basin-transduced surface waves)の2種類に区別するKawase and Sato(1992)の分類に従い、②の後続波の性質についてこの2種類の表面波に分けて検討を行った。

S波の増幅特性を調べるために、遠地の深発地震について茂寄に対する帯広のS波部分のスペクトル比を求めた。これらの地震では帯広と茂寄に対する震源と伝播経路の影響が共通になると考えられ、両観測点の観測記象のスペクトル比は十勝平野の site effectsを表わすと考えられる。求められたスペクトル比は0.2～1.0Hzで4～20となり、S波が大きく増幅されることを示している。スペクトル比の形状や増幅率は地震によって異なり、S波の増幅特性が地震の方位に依存している可能性がある。また、この増幅率は帯広の一次元のS波速度構造から理論的に求められた増幅率よりやや高めになった。この結果は堆積盆地の3次元的な地下構造による増幅の効果を意味している。

Basin-induced surface wavesの励起特性を検討するため、近地のやや深発地震を用いて後続波水平動成分の周波数特性の時間変化を調べた。これらの地震による茂寄の観測記象には後続波がほとんど見られない。これに対し帯広では顕著な後続波が観測されることが多く、0.26～1.0Hzの周波数範囲が卓越している。後続波の継続時間は震源の深さに対する震央距離の比(Δ/H)が大きくなるほど、また、十勝平野への入射波の周波数特性が低周波側に延びるほど長くなるという性質がある。後続波の励起の強さと入射波の周波数特性との関係には、十勝平野の構造において fundamental modeのラブ波が高周波側にカットオフを有するというmedium responseが関係していると考えられる。また、上下動成分の後続波の励起は、水平動成分よりも強い。また、入射波の周波数特性と Δ/H への依存度は水平動成分よりも弱い。これらの特徴は、

fundamental modeのレイリー波が低周波側にカットオフを有することに関係していると考えられる。

Basin-transduced surface wavesの励起特性を調べるために、遠地の浅発地震を用いて茂寄に対する帯広の波形全体のスペクトル比を調査した。その結果、地震のマグニチュードによって地震波形は大きく異なるのに対し、スペクトル比の値が0.2~1.0 Hzの周波数範囲にわたって同一であることが明らかになった。解析に用いた地震群の中で、この伝播経路の影響の差異が十分に小さいと考えられる、両観測点のほぼ南で発生した地震群について検討を行うと、十勝平野の0.2~1.0Hzの周波数範囲の増幅率は水平動成分で約10倍、上下動成分で約6倍であるということがわかった。

次に、十勝平野内で増幅される後続波の挙動を調べるため、アレイ観測データの解析を行った。用いた地震は近地のやや深発地震と遠地の浅発地震である。これらの地震による帯広での後続波はそれぞれ Basin-induced surface wavesとBasin-transduced surface wavesであると考えられる。

アレイ観測データの上下動成分に対してセンブランス解析を行い、地震波の見かけ速度と到来方向を求めたところ、レイリー波が確認できた。波の見かけの速度は大部分の区間で1~2 km/sとなり、帯広畜産大学におけるfundamental modeのレイリー波の理論分散曲線にはほぼ一致することを確認した。これらのレイリー波のうち、震央方向から到来するレイリー波はわずかである。レイリー波の到来方向はほぼ全方位にわたっており、また、その方位は時間の経過と共に大きく変化している。このため、レイリー波は特定の場所で励起されたものではないことが推測された。

また、後続波の水平動成分についてセンブランス解析を行い、ラブ波の抽出を行った。純粋なラブ波を抽出するために、直達S波部分の振動解析の結果を参照して、水平面内で直線的に振動している波群を選んだ。この中から、見かけ速度がfundamental modeのラブ波の理論分散曲線と一致し、振動方向と到来方向がほぼ直行する波群を検出した。これらの純粋なラブ波のみから構成されているものは波形全体から見るとごく僅かであった。この他のほとんどの時刻については、後続波には複数の波が混在していることが考えられる。

以上の研究成果から十勝平野の地震動の増幅特性と後続相の性質には堆積盆地の3次元的な地下構造が大きく影響していることが明らかになった。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	岡 田	廣
副 査	助教授	森 谷	武 男
副 査	助教授	笠 原	稔
副 査	講 師	笹 谷	努

学 位 論 文 題 名

十勝平野の長周期地震応答に関する研究

観測された地震記象は、震源、伝播経路、観測点近傍の構造、以上の3つの影響を受けた結果である。多くの都市部の位置している堆積盆地では、この内の観測点近傍の構造の影響が強く、実体波の増幅、二次的な表面波の励起などの効果により、大振幅で継続時間の長い地震動が観測される。特に、厚さ2～3 kmの堆積層を有する盆地では、周期1～10秒の長周期地震動にこの効果が大きく現れ、その周期帯が近年増加している長大構造物の固有周期に相当するため、堆積盆地内での長周期地震動の挙動を明らかにすることは、地震防災上の緊急課題の一つとなっている。

本研究は、厚い堆積層を有する北海道南東部の十勝平野を対象として、そこでの独自に行なわれた強震動観測から得られたデータをもとに、堆積盆地の長周期地震動応答を明らかにすることを目的としている。

まず、申請者は、十勝平野中央部の堆積層上に位置する帯広とその約70 km南の岩盤上に位置する茂寄に強震観測点を設置した。さらに、帯広においては、盆地内を伝播する波の特性を詳細に調べるために、直径約1.2 kmの円内に5つの観測点を群列（アレイ）配置した。この観測において、地震計には、0.025～20 Hzの周波数範囲でフラットな特性を有する広帯域速度型強震計を使用し、デジタルレコーダを用いて

データを収録した。1991年7月から約2年の間において、約110個の地震による記録を得ている。

堆積層上の帯広と岩盤上の茂寄で得られた記録の比較から、十勝平野の地震動応答を①S波の増幅特性、②後続波（二次的表面波）の励起特性の二つの面から明らかにした。以下の解析においては、観測記録に含まれる震源と伝播経路による影響を取り除き、観測点近傍の構造による影響のみを抽出する工夫がなされている。S波の増幅特性は、3つの遠地の深発地震による記録について茂寄に対する帯広のS波部分のスペクトル比から求められた。それは、周波数0.2～1Hzの範囲で4～20の値となり、堆積盆地構造によってS波が大きく増幅されることを示している。

茂寄と帯広の記録の大きな相違は、堆積層上の帯広ではS波に続く後続波の励起がきわめて強いことである。これらの後続波（二次的表面波）については、①実体波入射によって励起される盆地生成表面波と②入射した表面波のモード変換によって励起される盆地転換表面波とに区別して解析した。近地のやや深発地震によって励起される後続波が盆地生成表面波（0.25～1Hzの卓越周波数を有する）で、その励起の強さが、入射波（茂寄における記録がこれに相当する）の周波数特性と震源の深さに対する震央距離の比（ Δ/H ）に依存することを明らかにした。低周波数に富んだ入射波ほど、また、 Δ/H が大きいほど盆地生成表面波は強く励起され、長い継続時間を有することになる。一方、浅い地震の場合に帯広で観測される後続波が盆地転換表面波で、茂寄における記録を入射波とみなした波形全体のスペクトル比から、0.2～1Hzの周波数範囲で水平動で約10倍、上下動で約6倍励起・増幅されることを明らかにした。

最後に、アレイ観測データのセンブランス解析から、後続波（二次的表面波）の見かけ速度と到来方向を推定した。見かけ速度は、帯広直下の地盤構造から予測される表面波の位相速度に一致し、また、後続波は震央方向のみならず、種々の方向から到来することを明らかにした。これまでに述べた解析結果から、堆積盆地の地震応答を考える場合、その3次元構造による影響が重要であることを明らかにした。

以上、申請者は堆積盆地構造をなす十勝平野の長周期地震応答に関する研究で、優れた研究成果を挙げた。審査員一同は、申請者が博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。