

氏名	土岐憲三 と き けん ぞう
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第170号
学位授与の日付	昭和44年7月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科土木工学専攻
学位論文題目	構造物基礎の地震応答に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 後藤尚男 教授 柴田 徹 教授 赤井浩一

論文内容の要旨

この論文は、その周囲が水や地盤で取り巻かれている構造物基礎の地震応答解析とその耐震設計への考察、および地震応答解析における入力である地震動の模擬とそれによる応答の評価について論じたものであって、3編からなっている。

緒論は、耐震工学の発展の跡を主として方法論の見地から概観し、構造物を支持する基礎と地盤の地震時における挙動や相互作用の解明、地震応答解析における入力の表現と出力の評価法など、現在の耐震工学の当面している二、三の重要な問題を指摘して、この研究の方向を明らかにしたものである。

第1編は、水中にある構造物を研究の対象として、それに作用する地震時動水圧の解明ならびに水中における構造物の振動性状について論じ、その耐震設計法に言及したものである。まず水中で剛体として運動する円柱に作用する動水圧に関する考究を進めて、動水圧自身の共振が存在しないこと、ならびに圧力波の伝播の生じない場合には慣性抵抗を質量に変換して評価できることを明らかにしている。また水の圧縮性が無視できる場合には、動水圧あるいは仮想質量は構造物の幾何学的な形状だけで決定できることを理論的に示し、模型振動実験を実施してその妥当性を検証している。

水中における構造物の振動特性に関しては、構造物と水とはフィードバック系を構成することにより、水中構造物の特徴的な現象である固有振動周期の増長について述べ、その割合を理論的に与えるとともに、それが模型振動実験による測定結果ともほぼ合致することを示している。さらに、構造物の応答量に重大な影響を持つ減衰作用についても理論的考察と実験的研究を行ない、構造物の振動に及ぼす水の減衰効果はほとんど期待できないことを確認し、それが水の持つ質量効果に原因していることを明らかにしている。

次に、これらの解析結果に基づいて、水中構造物の耐震設計を地上空気中にある一般の構造物の耐震設計に準じた方法で行なうことが可能であることを示し、その手順についても論及している。そして最後に、仮想質量の概念の有用性ととも、実際問題の処理に当たって留意すべき点をも指摘している。

第2編は、地盤および地中にある構造物の地震に対する応答を、基盤および表層地盤内における波動の伝播との関連において論じたものである。一例として松代群発地震の場合を対象として、震源地付近の数地点で表層地盤の深さ方向における震動特性の相違、地盤の種別と震動特性の関係などに関する観測を行ない、地盤の種別とスペクトル構造とは密接な関連にあり、軟弱な地盤におけるほど低振動数の成分が卓越し、横波の伝播速度が低下すること、それぞれの地盤には固有の周波数特性があり、同程度の規模の地震に対しては同様なスペクトルを示すことなどを確認している。

また地盤を構成する媒質の一つである砂質土における弾性波の伝播速度を砂の間げき率の関数として表示できる力学モデルを提示している。これを検証するために、超音波パルス法を用いた室内実験を行ない、一定の周圧のもとでの乾燥砂の縦波と横波の伝播速度の測定値から決定した弾性定数は、間げき率の増大に対してほぼ直線的に減少する傾向を示すことから、力学モデルの妥当性を確かめている。また実験結果と対比して、最小間げき率とそのときの弾性定数、最大間げき率、砂粒子と水の密度、水の体積弾性係数とが定数として与えられれば、砂質土の弾性波の伝播速度は有効垂直応力と間げき率との関数として表示できることを示している。

一方基盤と表層地盤内での波動伝播に関する考察の結果に基づいて、基盤から表層へ入射する地震波の射出角が表層地盤の震動振幅に及ぼす影響を検討し、構造物によって散乱された地震波はラブ波と同様に表層地盤内で完全反射をして、散乱波の基盤内への逸散が生じないことを明らかにしている。また表層地盤内を水平方向に伝播する波動は一般に波長が長く、構造物に及ぼす振動圧は小さいこと、表層地盤内にある構造物に作用する振動圧は表層の横波伝播速度のみならず、基盤での横波の伝播速度に比例することを示し、地中構造物の地震応答解析において基盤の弾性を考慮することの意義と重要性を指摘している。さらに地中部から地上部へと連続する構造物の地震応答解析法を示し、その結果についての検討により、表層地盤は見かけ上構造物の剛性を高める作用をする傾向にあることを強調し、耐震設計への適用について論及している。

第3編は、構造物基礎のみならず、一般の地上構造物の地震応答解析においても重要な入力地震動の設定とそれによる応答の評価を論じたものである。まずこれまでに得られている代表的な強震記録を対象として、波形や振幅についての検討を行ない、それらが確率過程として取り扱えることを確認し、その非定常性を抽出する方法と確率過程による地震動の模擬の意義について述べている。また地震動の模擬波形に任意のスペクトルを与える方法を提示し、この方法に基づいてモンテカルロ法を用いて行なった発生例と実地震記録波形との比較検討の結果、模擬地震波形としての有用性を持っていることを明らかにしている。

次いで非定常確率過程として表示された地震動に対する構造物の応答について解析を行ない、それをある設定レベルを越える期待回数で評価することにより、確率量をパラメーターとする応答スペクトルが得られることを示している。そしてこのような考えによれば、応答スペクトルに安全率の概念を導入できることを示すとともに、入力地震動の持つ卓越周波数と継続時間とにより応答レベルを変えるべきであると指摘している。

結論は、以上の内容を総括したものである。

論文審査の結果の要旨

構造物基礎の耐震性は従来から重視されながら、水中や地中にある構造物の耐震研究、特に構造物基礎とそれを取り巻く土や水との動的相互作用についての研究は十分とはいえない。本論文は、これらを中心課題として論ずるとともに、入力地震の設定と応答の評価などについても考究して、著者の新しい見解を提示したものである。

まず水中にある構造物に作用する地震力の評価においては、その周波数特性の検討が重要であることを指摘し、構造物の表面から放射される波動が水中へ伝播することに基づく逸散減衰により、構造物に作用する水の圧力振幅が限りなく増大するような共振現象は存在しないこと、通常程度の規模の構造物や地震動周期に対しては水は単に慣性抵抗を示すものと考えてよく、したがってこれを質量として評価できることなどを明らかにしている。さらにこのような水の質量作用が構造物の振動特性に及ぼす影響についての理論解析を進めて、その結果を実験的に検証するとともに、構造物の形状と水中での固有振動周期の伸長率との関係を定量表示している。

また構造物の振動減衰に及ぼす水の影響は従来明確にされていなかったが、この問題を理論解析と実験の両面から検討し、構造物と接する水は構造物に対しては減衰抵抗として作用するが、それは水の質量作用により相殺されて、結局構造物を取り巻く水は振動減衰にほとんど寄与しないことを明らかにしている。著者はこれら一連の解析結果より実用的な近似算定式を誘導提示したが、それらは水中構造物の耐震設計に関して有力な指針を与えたものとして注目される。

次に構造物が地盤中にある場合についても、構造物の基礎や地震波の波長と対比すれば、土を連続な媒質とみなすことが許され、従来からも弾性体として取り扱われることが多い。このような観点から、本論文ではまず弾性波速度と地盤の種類や地表面からの深さとの関係を実地震の観測結果に基づいて検討した。しかる後土の間げき率、有効垂直応力および弾性波速度間との関係について考察を行なうとともに、これらの関係を説明できる力学モデルを提示し、その妥当性を実験的に検証している。こうした考えは地盤や地中構造物の地震応答解析に、地盤の性質を支配する具体的な物理量を導入するという観点からも重要であり、さらに今後の発展が期待される。

さらに地中構造物の地震応答に関しては、これを一貫して波動論的見地から理論解析を行なっている。まず地中構造物が周囲の地盤から受ける地震力に関しては、構造物を取り巻く表層地盤だけでなく、さらに構造物基礎を支える基盤の弾性が重要な影響を持ち、表層地盤内における構造物表面からの散乱波やその結果生ずる水平方向への波動の逸散減衰などを考慮することの意義を明確にしている。また地盤と構造物の間に形成されるフィードバック系についての解析結果に基づいて、地盤は見かけ上は地中構造物の剛性を高めると同時に逸散減衰により振動減衰が増大したと同様な効果を持つことを明らかにしているが、このような波動論的な解析を背景にした考え方は地中構造物の耐震設計の確立に示唆するところが大きい。

以上のような研究はいずれも構造物基礎の振動特性に関する解析を主としたものであり、これを空気中にある一般の構造物との対比において論じているが、これらの結果に基づいて地震応答解析を遂行して耐

震設計に資するためには、さらに入力地震動の合理的設定やそれに対する振動系の応答評価も重要な課題である。本論文はこうした点にも論及して、地震動の周波数特性を容易に反映できるような地震波形の模擬の方法を提示し、その強震波形としての有用性を確かめている。

さらに現在の耐震設計における基本概念の一つである応答スペクトルは、振動系の力学特性と応答量との関係を統一的に評価できる点においては優れているが、絶対最大値以外の応答の持つ情報を無視している点を指摘し、入力を非定常確率過程とすることにより、新たに安全率に関する確率パラメータを導入した応答スペクトルを提案している。またこの考えを用いて応答量に及ぼす入力地震動の周波数特性や地震動の非定常性に関しても検討考察を加えるなど注目すべき成果を収めている。

以上要するに、本論文は水や地盤と構造物基礎との地震時の動的相互作用の問題を連続な媒質中における波動伝播の見地から、著者独自の手法によって究明し、その成果をもととして構造物基礎の耐震設計に論及したものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。