

東海地震, 東南海・南海地震に関する地震動予測について

Prediction of the Earthquake Ground Motion of the Forthcoming Tokai, Tohankai and Nankai Earthquakes

後藤武俊*

GOTO Taketoshi

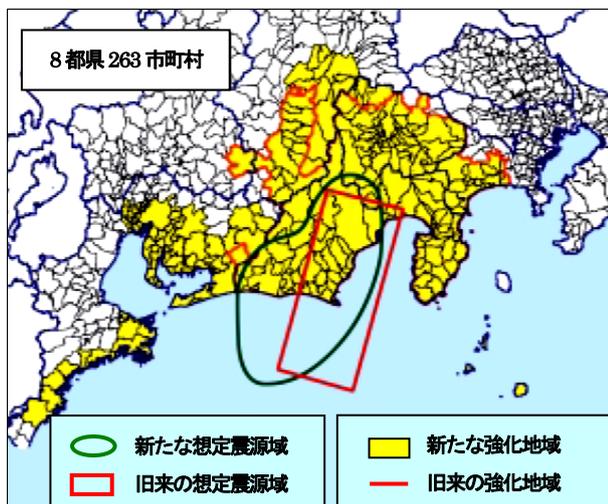
* 前 (財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

In Japan, many people are showing a great concern about the forthcoming Tokai, Tohankai and Nankai earthquakes, which are all capable of causing serious damage. The present paper describes a case study of the prediction method for the earthquake ground motion with the magnitude of nearly eight using the stochastic Green's function method.

Key Words: stochastic Green's function method, earthquake ground motion, Tokai, Tohankai, Nankai

1. はじめに

平成 16 年 12 月 26 日, スマトラ沖地震に伴う巨大津波がインド洋に面した国々を襲い, その犠牲者は行方不明者を含め 30 万人近くとなり, 歴史上最大級の災害となった. 日本においても地震列島と呼ばれるように, 近年では新潟中越地震 (平成 16 年 10 月 23 日), 福岡県西方沖地震 (平成 17 年 3 月 20 日) による被害は記憶に新しい. 一方, 将来的には「いつ発生してもおかしくない」と言われ続けて 30 年近くが経過した静岡県の真下が震源域となる「東海地震」(図-1 参照) の存在や, 南海トラフと呼ばれる東海沖から四国沖の海底に伸びる海溝上を震源域とする「東南海・南海地震」(図-2 参照) の発生が警告されている.

図-1 想定震源域 (東海地震) ¹⁾

東海地震については 1978 年に「大規模地震対策特別措置法」が成立して以来四半世紀が経過しており, その間に多くの観測データや新たな学術的知見等が得られてきた. 東南海・南海地震についても平成 15 年 7 月 25 日「東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措

置法」が成立し, 巨大地震に対する防災対策が進められている. 内閣総理大臣を会長とする中央防災会議では「東海地震に関する専門調査委員会」²⁾や「東南海・南海地震等に関する専門調査会」²⁾が設置され, 対象とする地震, 地震動, 被害予測, 地震防災対策のあり方について検討が進められている. このような取り組みのなか, (財) 沿岸技術研究センターでは中部地方および近畿地方, 四国地方を対象として, 東海地震, 東南海・南海地震による被害予測を検討しており, その被害予測に用いる地震動予測について紹介する.

図-2 想定震源域 (東南海・南海地震) ¹⁾

2. 地震動予測について

従来の地震動予測は起震断層の長さや代表的変位量から地震マグニチュードを推定し, 地震動に関するマグニチュード-距離の関係式 (距離減衰式) から対象地域の最大加速度, 最大速度, 震度を推定するものであった. しかし, 地震のメカニズムの解明, 近年の 1995 年兵庫県南部地震, 2000 年鳥取県西部地震, 2001 年芸予地震の震災状況の検証が進むにつれて, 地震動が木造家屋, 鉄筋コンクリート・鋼構造物, 高架橋, ガスタンクなどの様々な土木・建築構造物に与える影響を最大加速度や最大速度などの 1 つの指標で表すのは困難であることが明らかになった.

地震動は震源となる断層の性質と震源から観測点に至る地下構造により地域的に異なり、結果として構造物に対する破壊力の強い地震動が生じた地域で大きな被害が生じる。したがって、様々な構造物・施設の動的な耐震性を検証するには地震動の時刻歴波形あるいは応答スペクトルの評価が必要になり、震源断層の破壊過程および震源から対象地点までの地下構造による伝播特性に基づいた地震動の予測が必要不可欠となる。今日では地震動が震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性(表-1)によって決定されるという考え方を元に様々な地震動予測手法が試みられている(図-3参照)。

表-1 地震動伝播特性の分類

伝播特性	内容
震源特性	震源においてどのように破壊が起きたかを規定する。
伝播経路特性	震源で生じた波動が地中内をどのように伝播したかを規定する。
サイト増幅特性	対象地盤周辺の表層地盤(工学的基盤～表層部分)の増幅特性(表層地盤の構造・物性による地震動の増幅特性)を規定する。

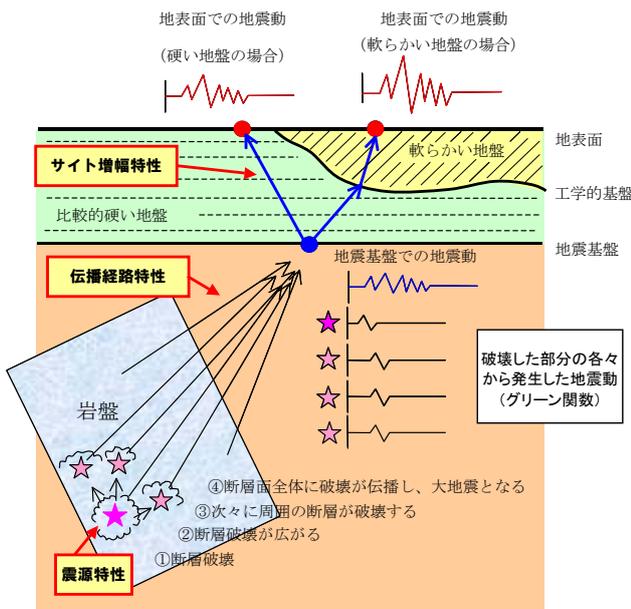


図-3 地震動予測の概念図

2.1 地震動予測手法の選定

提案されている震源断層や地盤構造を考慮できる地震動予測手法を表-2に示す。これらの手法のうち現在最も精度が高いと考えられるのは経験的グリーン関数法(図-4参照)であるが、計画地点に強震計が設置されていない場合がほとんどであり、設置されていても適切な小地震記録が得られていない可能性がある。また、震度マップの作成を目的とした場合のように当該地域を面的に捉える場合は不向きである。理論的グリーン関数法(図-5参照)を実施するには地震発生層(深さ50km程度)、地震基盤

($V_s=3000\text{m/s}$, 深さ3km程度)～工学的基盤($V_s=300\text{m/s}$, 深さ100m程度), 工学的基盤～地表(対象サイト)の精密な地盤モデルを作成しなければならない。一般には地震基盤～工学的基盤の地盤調査が行われている事が少なく、十分な精度を有するモデル化を行うことが困難である。また、適用周波数が一般に0.5Hz程度より低周波(長周期)領域であるため、主な港湾構造物の固有震動数とは異なる。

表-2 地震動予測手法

予測手法	概要	実績
理論的グリーン関数法	震源・伝播経路・サイト特性のすべてをモデル化し、波動方程式を解く方法(3次元差分法)	—
経験的グリーン関数法	地震動の発生源となる震源断層をメッシュ状の小断層に分割し、小断層から生じる小地震記録をグリーン関数とみなし、小地震を重ね合わせて地震動波形を合成する方法	—
統計的グリーン関数法	確率論的震源モデルを用いて小地震の波形を人工的に作り、これに地震断層の広がりや伝播特性等を考慮して地震波形を合成する方法(確立論的グリーン関数法)	中央防災会議
ハイブリッドグリーン関数法	短周期領域を統計的グリーン関数法、長周期領域を理論的グリーン関数(3次元差分法)を用いて地震波形を算出する方法	地震調査推進本部

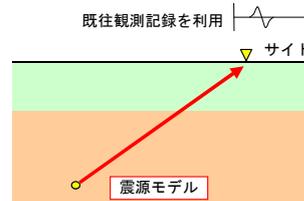


図-4 経験的グリーン関数法

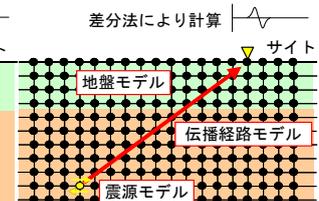


図-5 理論的グリーン関数法

一方、統計的グリーン関数法(図-6参照)は過去に得られた強震記録の統計的な性質に基づいてグリーン関数を設定するため、必要な情報量が比較的少なく、任意の地点に適用可能なこともあり、サイトの特性を適切に設定できれば、将来発生する地震(東海、東南海・南海地震等)を想定した地震動推定には有効である。また中央防災会議が公開している震源パラメータ等を活用することから、中央防災会議で適用実績のある本手法を採用した。

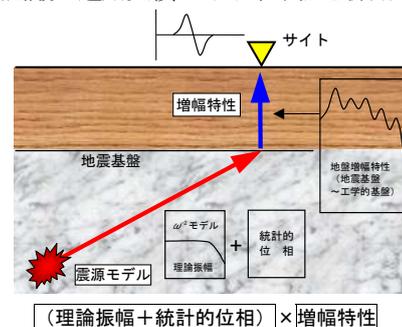


図-6 統計的グリーン関数法

地震波形の作成に当たっては要素地震からの地震動を断層面の広がりや破壊進行における時間的・空間的成長に従って重ね合わせることで合成波を作成する(図-7参照)。ここで言う要素地震とは、経験的グリーン関数法や統計的グリーン関数法において、大きな断層を分割した小さな領域から発する地震、すなわちグリーン関数として用いる地震のことを指す。要素地震による地震波形は、経験的グリーン関数法では既往の観測記録となり、統計的グリーン関数法では人工(理論)地震波形となる。

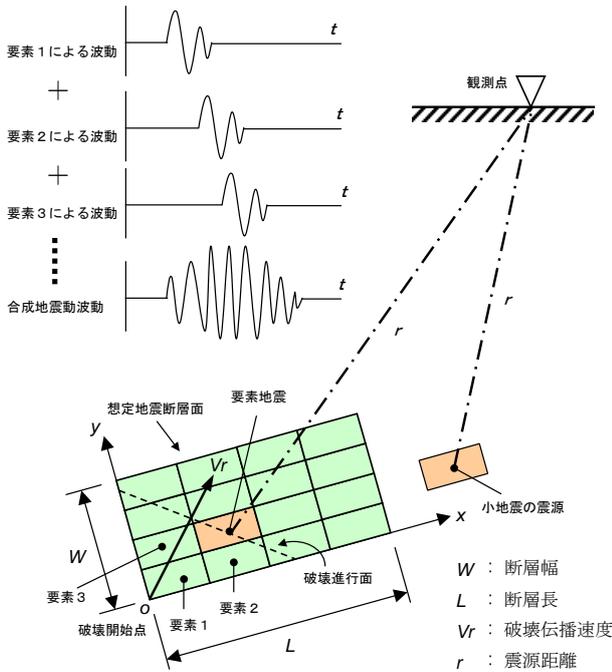


図-7 波形合成法の概念図

2.2 震源モデルの設定

中央防災会議に設置された専門委員会では、東海、東南海・南海地震に関する調査・研究が進められており、ここで想定されている震源に関する条件から震源モデルとして図-8のようなモデルを設定した。

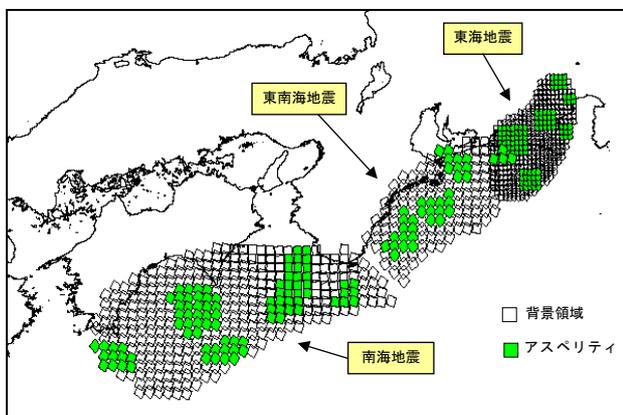


図-8 震源モデル

東海、東南海・南海地震のようにマグニチュードが8を

越えるような巨大な地震の場合、断層面での破壊は一様ではなく、アスペリティと呼ばれるすべりの大きい場所が存在する不均質な破壊過程を示すことが震源インバージョン解析により示されている。これを踏まえ、震源モデルで設定される断層パラメータとしては、断層の長さ・幅・面積・位置や地震モーメントなどの巨視的断層パラメータだけでなく、不均質なすべり分布を評価するアスペリティなどの特性を示した微視的断層パラメータが設定されており、この不均質の分布も震源域における要素断層分布として設定されている。

2.3 サイト増幅特性の算定

地震基盤～工学的基盤のサイト増幅特性はサイトインバージョンによって観測記録を用いて算出する。

$$A^0(\omega) = A^s(\omega) \times A^p(\omega) \times A^f(\omega) \quad (1)$$

式(1)のように地震観測記録 $A^0(\omega)$ は震源特性 $A^s(\omega)$ 、伝播経路特性 $A^p(\omega)$ 、地震観測点の増幅特性(地震基盤～観測点) $A^f(\omega)$ の掛け算によって表すことができ、地震観測記録から増幅特性を算出する。(1)式を対数値の線形和として表すと(2)式となる。

$$\log(A^0(\omega)) = \log(A^s(\omega)) + \log(A^p(\omega)) + \log(A^f(\omega)) \quad (2)$$

ある期間内に m 個の地震が発生し、その地震が n 個の観測点で観測されたとすると地震観測記録は $m \times n$ 、(2)式の右辺の未知数は $A^s(\omega)$ が m 個、 $A^p(\omega)$ は1個、 $A^f(\omega)$ は n 個で合計 $m+n+1$ 個となる。地震観測記録、すなわち観測方程式の数 ($m \times n$) が $m+n+1$ より大きければ(2)式を最小二乗法的に解いて、震源特性 $A^s(\omega)$ 、伝播経路特性 $A^p(\omega)$ と地震観測点の増幅特性(地震基盤～観測点) $A^f(\omega)$ が地震観測記録 $A^0(\omega)$ から分離できることになる。概念的には図-9のように震源①、②で発生した地震がサイトA～Cで観測されていればサイトA～Cの増幅特性を求めることができる。

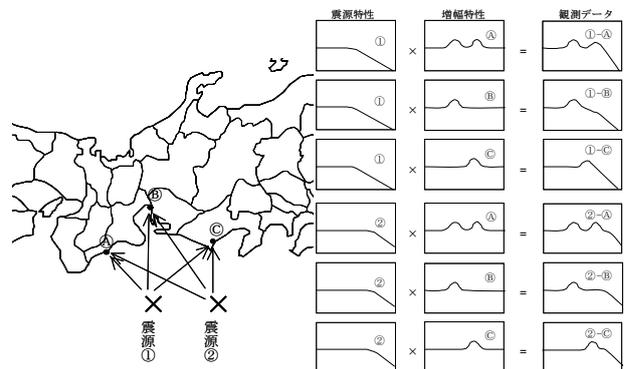


図-9 サイトインバージョンの概念図

通常、地震基盤に入射した波は地表に到達するまでに振幅の増幅だけでなく、波形が長くなるような位相の変化を受ける。しかし、地震基盤の波形にサイトインバージョンで得られたサイト増幅特性を掛けるだけでは位相の

変化を考慮できないため、各サイトで観測された小地震記録の位相特性を用いて位相特性の変化を考慮した。

サイトインバージョンに用いる観測記録データの条件として、マグニチュードは 4.5 以上 6 未満とし、震源距離については距離減衰特性が 150km 付近を境に変化することから 150km 以下とした。また、震源の深さが 60km 以上の地震は、あまり被害を発生させないものとして除外した。地震観測記録 (表-3 参照) は強震観測網 (K-net), 基盤強震観測網 (KiK-net), 港湾地域強震観測システムで公表されている地震記録を用いた。

表-3 地震観測網の概要

観測網	内容
強震観測網 (K-net)	(独) 防災科学技術研究所により全国約 1000 地点に設置された強震計ネットワークである。日本全国に約 25km 間隔で同一のスペックを持つ加速度型強震計を設置することにより、非常に均質な観測を実施している。
基盤強震観測網 (KiK-net)	K-net 同様 (独) 防災科学技術研究所による観測網であり、地震調査研究推進本部の推進する地震に関する基盤的調査観測 (基盤観測網) の一環として高感度地震計および強震計等の観測網を全国展開している。
港湾地域強震観測システム	国土交通省港湾局, 各地方整備局, 静岡県港湾総室, 大阪市港湾局, 国土技術政策総合研究所等が参画する港湾空港技術研究所による強震観測網。

岩盤点の選定条件としては岩盤点の設定を対象サイトの中で周波数ごとに最もサイト増幅特性の小さい地点とし、表層 10m の平均 S 波速度が 400m/s 以上とした。

2.4 工学的基盤上の地震動予測

工学的基盤 ($V_s=300\text{m/s}$) での地震動波形を算出した結果を参考として紹介する (図-10 参照)。地震動予測手法は統計的グリーン関数法を用い、対象地震は「東海地震+東南海地震」の組合せとした。

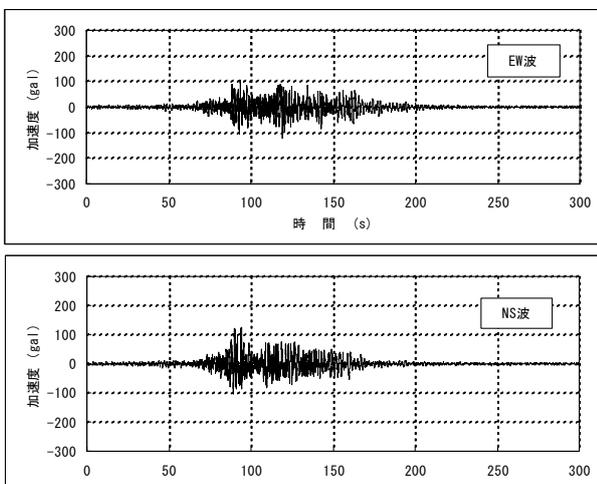


図-10 加速度波形 (参考)

地震波形の特徴を比較するため、これまで港湾施設の耐震設計などに用いられてきた八戸波, 大船渡波, ポートアイランド波を図-11 に示す。

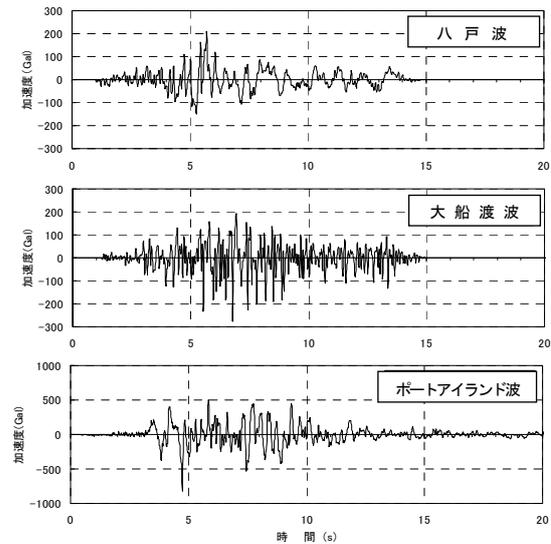


図-11 既往地震の加速度波形

比較すると明らかなように東海地震+東南海地震による地震波形の特徴としては継続時間が極めて長いことがわかる。これは今回想定している地震の震源域が極端に広域に広がっているためである。

3. おわりに

地震動予測については現在も様々な機関で研究が継続され、地震の観測網の展開、観測技術の向上が図られている。今回用いる地震動予測手法はできる限り中央防災会議で実績のあるものを採用する形で検討を実施してきた。現在はこの手法の妥当性を検証するため、既往地震の再現性などを検証するなど、手法の高精度化に努めている。また、ここでは紹介しなかったが、算出した地震波形を用いて港湾施設の耐震性の照査や震度マップなどの作成も試みている。構造物の設計面でも性能設計への移行が進められており、実用的な地震動予測手法の検討を継続していくこととしている。

参考文献

- 1) 内閣府 (防災担当): パンフレット「わが国の災害対策」, pp. 24-28, 2002.
- 2) 内閣府中央防災会議ホームページ: 「東海地震に関する専門調査委員会」, 「東南海・南海地震等に関する専門調査」 <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou> (2005 現在)
- 3) 入倉孝次郎: 日本応用地質学会関西支部平成 16 年度講演会・特別講演, 地震動予測の現状と課題, 2004. 5. 20.
- 4) 釜江克宏, 入倉孝次郎, 福知保長: 地震のスケールリング則に基づいた大地震時の強震動予測, 日本建築学会構造系論文報告集, No. 430, pp. 1-9, 1991.