

## 海洋構造物の動的応答を用いた損傷評価法に関する基礎的研究

鹿児島大学大学院 学生会員 ○下玉利 光恵  
 鹿児島大学工学部 正会員 河野 健二  
 鹿児島大学工学部 正会員 木村 至伸

### 1.はじめに

日本は四方を海に囲まれた島国であり、狭い国土を有効に活用していくため海洋スペース利用への関心が高い。しかし、海洋環境下は様々な特性の異なる不規則外力を受ける厳しい条件のもとにあり、損傷や劣化を受ける可能性は陸上よりもはるかに高くなる。その反面、海洋構造物は長期間一定の場所においてその目的を果たさなければならない。そこで、将来起こりうる損傷や劣化が動的応答特性に及ぼす影響、またどの部分がどの程度損傷を受けているのか把握することが重要となる。そこで本研究では、動的外力として波力・地震力が作用する場合、任意の部材損傷に伴って生じる動的応答特性の変化を評価することを試みた。

### 2.解析モデル及び解析方法

本研究で用いた解析モデルを図-1 に示す。節点数 25、要素数 46、高さ 60m、幅 20m、タワー32mの骨組モデルである。モデルの基礎を固定し、水深 50m 下に設置した場合を想定した。各部材は鋼管で、浮力を考慮した要素の単位体積重量は  $0.1\text{KN/m}^3$ 、その他は  $78\text{KN/m}^3$ 、弾性係数は  $21.0 \times 10^7\text{KN/m}^2$ 、せん断弾性定数は  $8.08 \times 10^7\text{KN/m}^2$ 、減衰定数は 0.02 に設定し、円形中空断面とした。直径は要素により異なり 0.8m~3.5m、厚みは全て 0.025m と設定した。また付加質量としてデッキにある各節点にそれぞれ 1MN を載荷させた。

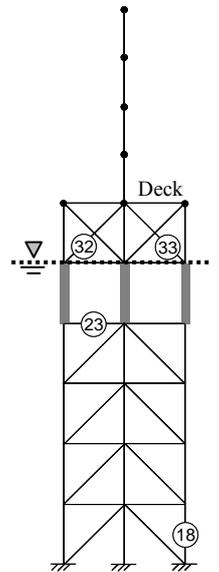


図-1 解析モデル

本研究で用いる海洋構造物は、部材径波長比が小さいので、波力は微小振幅波理論を用いて水粒子の加速度及び速度を求め、それらを修正 Morison 式に代入することにより評価を行った。また、Bretschneider 型のパワースペクトル密度関数を用いて海表面の運動を表し、これを用いてシミュレーションにより時間領域での波力を求めた。

地震応答解析においては、固有値解析により固有値、固有ベクトルを求め、モード解析法により行った。分解された各振動モードの応答は有限要素法を用いて全体系の運動方程式を求め、Newmark の  $\beta$  法より時刻歴応答解析を行った。解析モデルの固有周期及び固有振動数を表-1 に示す。

表-1 固有周期及び固有振動数

	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>
固有周期 T(sec)	1.607	0.719	0.217
固有振動数 f(Hz)	0.622	1.391	4.614

解析では、いくつかの損傷パターン(表-2)を設定し、部材強度が低下した場合(表-3)について検討を行った。一般的に損傷は局所現象であり、構造物に関する多くのパラメーターを変化させるので、パラメーターの変化は、損傷指標として使用できることが分かっている。本研究では、パラメーターとしてひずみエネルギーを使用し、要素  $j$  の損傷による要素  $i$  への影響を  $\beta_i$  とし、 $\beta_i$  の平均値  $\bar{\beta}$  及び標準偏差  $\sigma_{\beta}$  を用いて正規化し、要素  $j$  の損傷に伴うひずみエネルギーの割合を指標  $Z_j$  として表した。<sup>1)</sup>

表-2 損傷パターン

損傷ケース	損傷要素
case 1	要素7
case 2	要素18
case 3	要素20
case 4	要素23
case 5	要素32
case 6	要素41
case 7	要素46
case 8	要素32・33

### 3.解析結果及び考察

図-2 は、最大加速度を 100gal に基準化した宮城県沖地震で観測されたタイプ地震動-種地盤である Kaihoku-LG を受けたときの応答を基準とし、その後要素 23 が損傷し、特性の異なる地震波、日向灘沖地震で観測されたタイプ地震動-種地盤である Itajima-LG を受けると仮定した場合の損傷指標を示す。損傷を仮定した要素 23 は小さく、要素 6、7、18、19、20、46 などが大きな値を得ていることが分かる。また、損傷の程度に関わらず各要素は同程度の値を示している。

表-3 損傷を考慮した場合の弾性係数

	弾性係数 (KN/m <sup>2</sup> )	せん断弾性定数 (KN/m <sup>2</sup> )
90%	18.9	7.27
60%	12.6	4.85
30%	6.3	2.42

図-3 は、有義波高 5.0m、有義波周期 10.0s の波を受けたときの応答を基準とし、その後要素 18 が損傷し、有義波高 10.0m、有義波周期 10.0s の波を受けると仮定した場合の損傷指標を示す。地震波の場合と同様に、損傷の程度に関わらずどの要素も同程度の値を示している。

図-4 は、有義波高 5.0m、有義波周期 10.0s の波を受けたときの応答を基準とし、その後要素 32 及び 33 が損傷し、最大加速度を 100gal 及び 600gal に基準化した Itajima-LG を受けると仮定した場合の損傷指標を示す。損傷を仮定した要素の損傷指標より、要素 7、19、20、45、46 等が大きな値を示している。また、入力強度に関わらず同程度の値を得ていることが分かる。

図-5 は、要素ごとのひずみエネルギーを示す。外力及び要素によって大きなバラツキがあることが分かる。

これまで示した図-2、図-3、図-4 及び、図-5 を見比べてみるとそれぞれ初めに得られるひずみエネルギーの値が大きい程、損傷を受けたときの変化が大きいことが分かった。これにより、初期状態のひずみエネルギーが小さければその要素が損傷を受けてもその要素自身に与える影響は小さく、大きなひずみエネルギーを持っていた

要素に大きな影響を与えられ考えられる。このことを考慮して、再び、図-2、図-3 及び、図-4 を見てみると大体の損傷箇所を推定することができる。つまり、基準とする状態のひずみエネルギーの割合をある程度把握していれば、この評価法を使用して損傷箇所を判断することができると思われ。

4.まとめ

本研究で用いた評価法は、損傷の程度に関わらず同程度の損傷指標を得られることから、軽度の損傷で損傷箇所を見つけることができると考えられる。また、外力の大きさによって左右されないことからどのような外力を受けても対応できるという利点があると思われ。しかし、反対にどの程度の損傷であるのか判断することが難しいという欠点があるということが分かり、今後検討する必要がある。

【参考文献】

1) Shuqing Wang , Huajun Li ; Modal Strain Energy for Damage Detection of Offshore Jacket Structures from Partial Modal Information : Experimental Validation , 2006

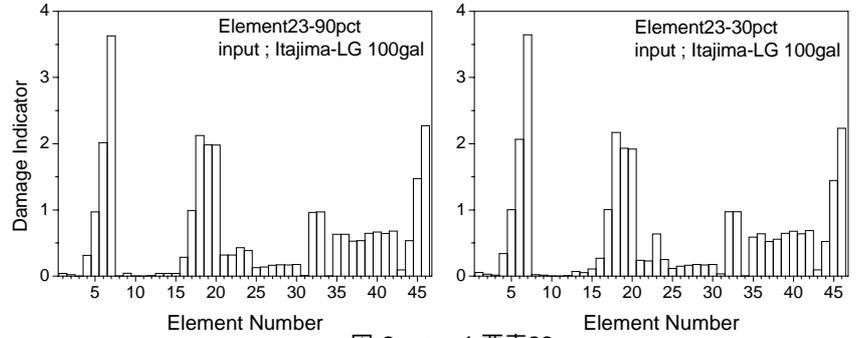


図-2 case4-要素23

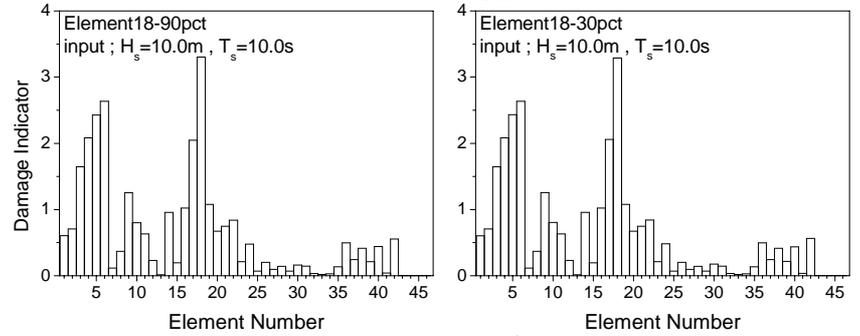


図-3 case2-要素18

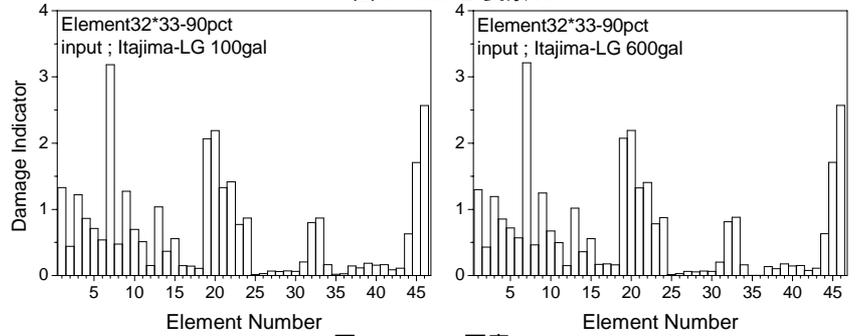


図-4 case8-要素32・33

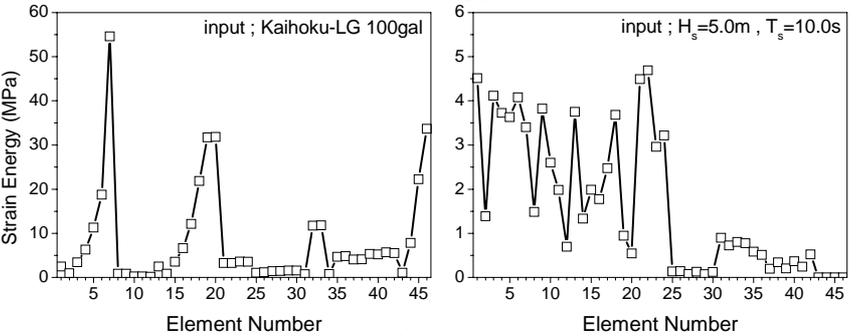


図-5 要素ごとのひずみエネルギー