

## 地震動をうける高力ボルト接合部の挙動

Behavior of Bolted Joints in Earthquake Excitation

高梨 晃 一\*・宇田川 邦明\*・田中 尚\*

Koichi TAKANASHI, Kuniaki UDAGAWA and Hisashi TANAKA

## 1. 序

筆者らは、最近、電算機—試験機オンラインシステムによる非線形応答解析法を開発した。このシステムの詳細については既に文献(1)に発表してある。

このシステムによる研究の目的として次の二つが考えられる。

- (1) 構造物や部材の復元力特性を表す数式モデルの妥当性を検討すること。
- (2) 数式モデルには表し得ないような複雑な復元力特性をもつ構造物や部材の応答を直接求めること。

第1の目的に沿った解析例としては、大きな地震動を受け、柱は弾性であるが、はり降伏し塑性状態になる、いわゆる、はり降伏型骨組の弾塑性応答解析があり、その結果の一部は文献(2)で発表してある。

第2の目的に沿った解析の例として、高力ボルト接合部をもつ骨組の応答解析について述べる。

## 2. システムの概要

オンラインシステムの基本的な流れ図を図-1に示す。入力データである地動加速度に対する応答は運動方程式を積分することによって得られるが、非弾性構造物の復元力は時間と変形の関数であり、真の応答を知るにはその瞬間の値を用いて計算しなくてはならない。そこで、本システムでは計算機によって制御されている同時進行の構造物載荷実験から瞬間の復元力を求め、それを即時

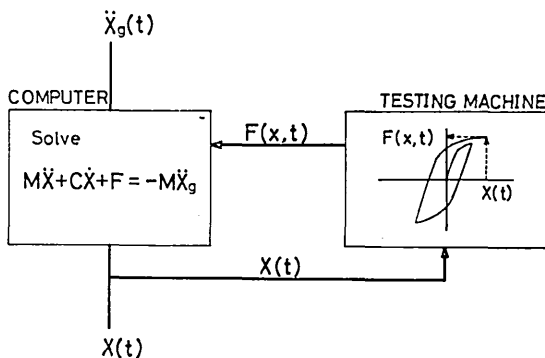


図-1 FLOW CHART OF SIMULATION

計算機にインプットして応答を求めている。

数値積分と力、変位の正確な測定は本システムによる解析の最も重要な点であるが、以下に述べる解析では、積分計算に文献(3)で示されているオープンタイプの差分法による数値積分法を用いた。これは、step by stepの計算において現時点より後の情報を必要としないという点で、この種の解析に適している。なぜなら、塑性域における構造物の挙動は非可逆であり、試行錯誤的手法が適用できないからである。

また、この方法を用いると復元力の値を直接計算に用いることができ、実験データより接線剛性を求める必要がないので、データの測定誤差の影響を少なくすることができるという利点もある。

## 3. 解析した骨組とはりの実験

解析の対象としたのは図-2に示すようなH形鋼はり剛な柱からなる門型骨組である。ここで柱を剛にしたのは、本解析でははりの高力ボルト接合を対象にしており、解析を簡単にしたためである。表-1にこの骨組の諸量を示した。J-1からJ-4までそれぞれの骨組は同一サイズのH形断面ばりに指定のボルト接合部を持っており、それを記号B J Gの後に続く2桁の数字によって示している。すなわち、上位の数字は片側フランジに配置したボルトの本数を表し、下位の数字はボルト孔のサイズを指定している。1はM12のボルトに対して13mmの径の孔を表し、4は同じくM12のボルトに対して16mmの径のいわゆる過大孔を表している。なお、B J G-Oは比較のため実験した、接合部のないはりである。

## 4. 解析結果

代表例としてJ-1, J-3の解析結果を図-4~図-7に示し、その差異を対比させた。

解析した骨組は図-3に示すような変形をする。そこで応答変位Xと復元力Fを記録し、はり端が全塑性モーメントMpとなるときの変位量Xp, 復元力Fpで無次元化して、その時刻歴を図-4, 図-5に示した。これらの図には、入力データとして用いた1968年十勝沖地震の八戸市における加速度記録 $\ddot{X}_0$ も併せて示してある。

図-6, 図-7は、復元力と変位の関係を示したもので、図-6では、はりの降伏によって曲線は滑らかなヒ

\*東京大学生産技術研究所 第5部

表-1 Analyzed Frames and Maximum Acceleration

Frame	Beam	Ground Motion		Structure			
		$\ddot{X}_{gmax}$ <sup>1)</sup>	$X_p$ <sup>2)</sup> (cm)	$M_p$ <sup>3)</sup> (t·cm)	$K_E$ <sup>4)</sup> (t·cm)	Mass, $M$ <sup>5)</sup> (t·sec <sup>2</sup> /cm)	$T_o$ (sec)
J-1	BJG - 0	1.67 $\alpha_y$ <sup>6)</sup>	2.06	662.6	3.678	0.02036	0.5
J-2-(1)	BJG - 61	1.67 $\alpha_y$	2.06	658.4	3.678	0.02036	0.5
J-2-(2)	BJG - 61	2.5 $\alpha_y$	2.06	658.4	3.678	0.02036	0.5
J-3	BJG - 64	2.5 $\alpha_y$	2.06	654.9	3.678	0.02036	0.5
J-4	BJG - 81	2.5 $\alpha_y$	2.06	662.1	3.678	0.02036	0.5

1) Maximum acceleration

2)  $X_p = F_p / K_E$

3) Full plastic moment of beam

4) Elastic stiffness of frame

5) Natural period

6) Yield acceleration,  $\alpha_Y = F_p / M$

$F_p = 2 M_p / H$

7)  $h = 0.02, C = 0.005115$  (t sec / cm)

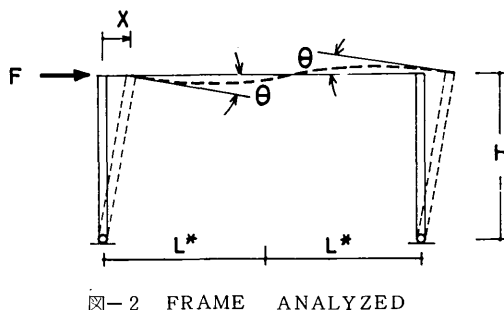
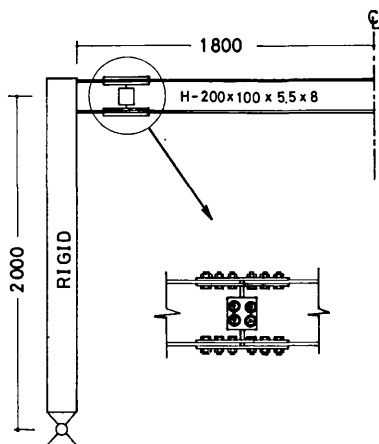


図-2 FRAME ANALYZED

← 図-3 DEFORMATION OF FRAME

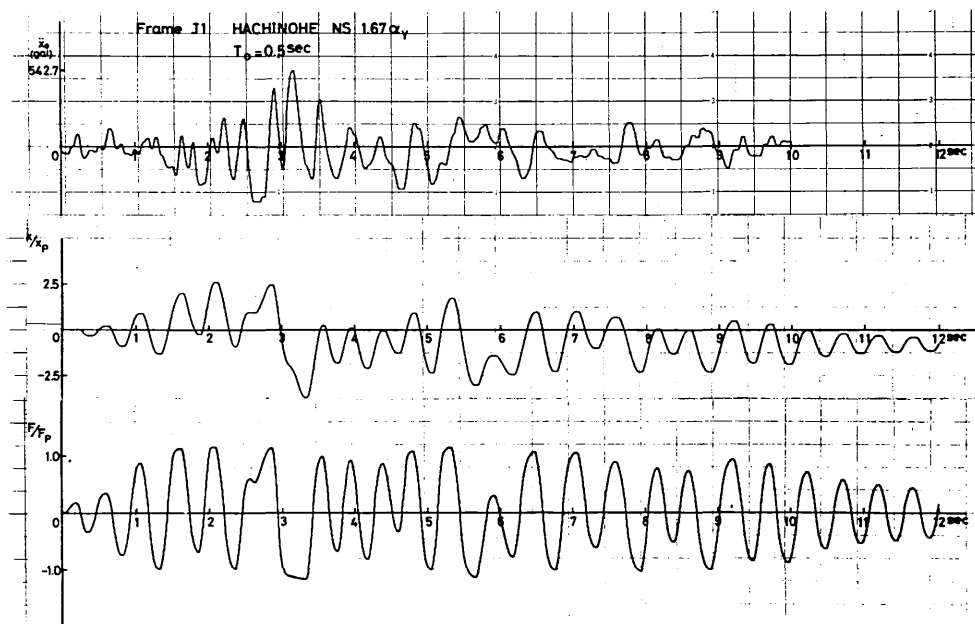


図-4 TIME HISTORIES OF RESPONSES (FRAME J-1)

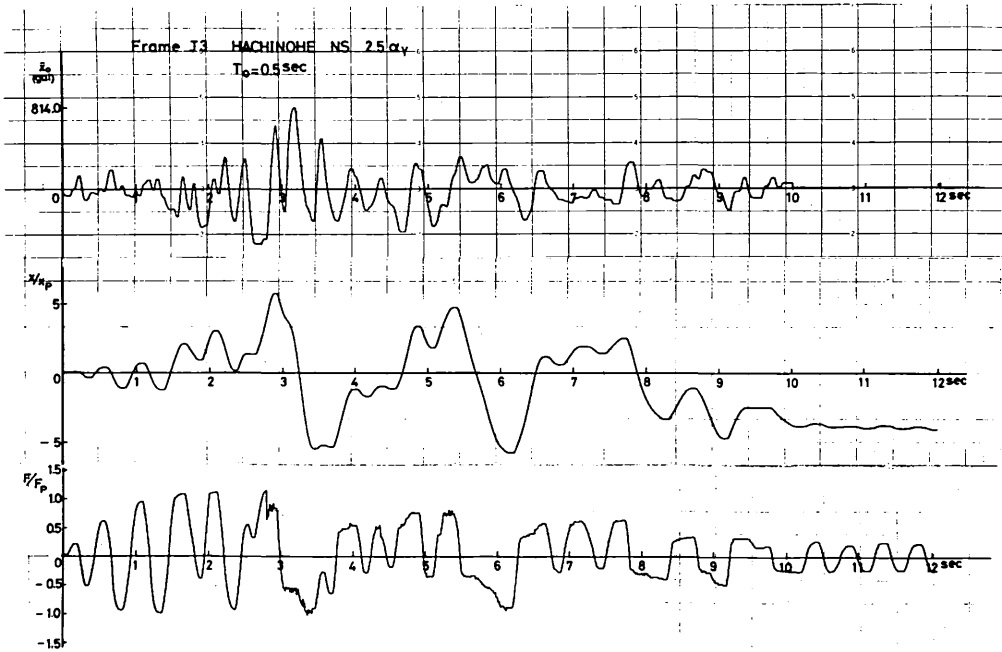


図-5 TIME HISTORIES OF RESPONSES (FRAME J-3)

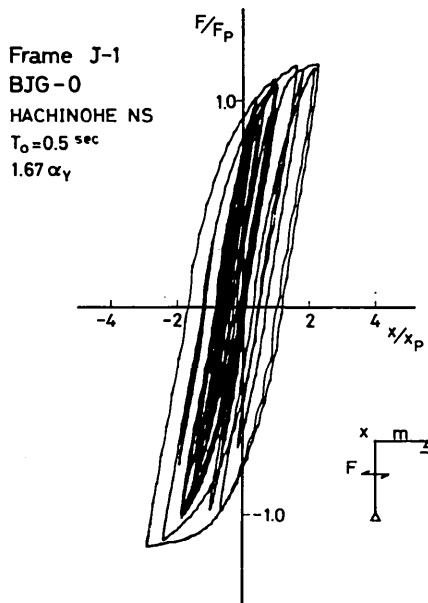


図-6 X/X<sub>p</sub> vs F/F<sub>p</sub> CURVE (FRAME J-1)

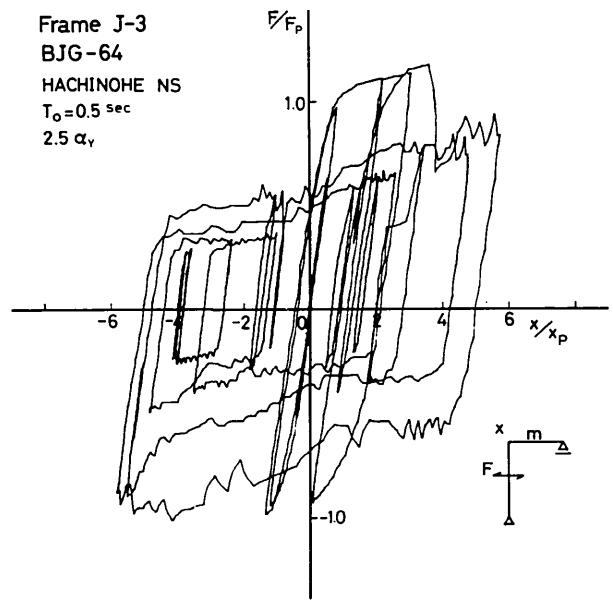


図-7 X/X<sub>p</sub> vs F/F<sub>p</sub> CURVE (FRAME J-3)

ステリクスループを画く。これに対して、図-7では、ボルト部の迂りによって滑らかな曲線が激しい復元力の低下とともに急にジグザグな曲線に変わり、以後復元力特性は複雑になる。

また、図-5においても、復元力の低下と接合部の弛緩による剛性の低下によって骨組の変形が大きくなり、

その応答周期も長くなることが分かる。

フーリエスペクトル解析によれば、このことはさらに明確になる。J-1、J-3の応答変位のフーリエスペクトルF<sub>D</sub>を図-8、図-9に示した。図-8で、固有周期0.5秒以外の長周期の部分でもはりの降伏によって大きなスペクトル値を示しているが、図-9では、ボ

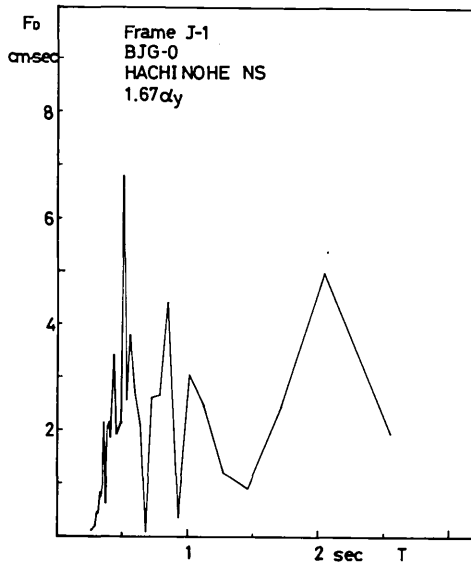


図-8 FOURIER SPECTRUM OF RESPONSE DISPLACEMENT,  $F_D$  (FRAME J-1)

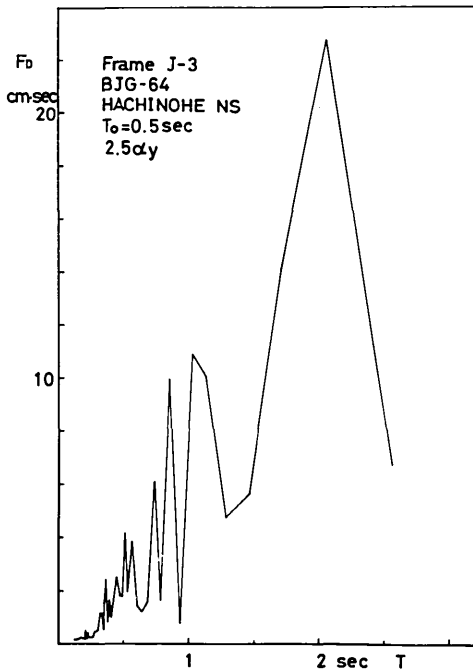


図-9 FOURIER SPECTRUM OF RESPONSE DISPLACEMENT,  $F_D$  (FRAME I-3)

ルト部のりによる剛性の変化は歴然としており、2秒付近において非常に大きな値を示している。

## 5. 結 論

本解析によって得られた結論として、まず次のことを挙げることができよう。

- (1) 電算機一試験機オンラインシステムの信頼性が確かめられた。すなわち、数値積分の方法を工夫すれば、かなり複雑な復元力特性をもつ骨組の解析にも適用が可能である。
- (2) ボルト接合部におけるりは骨組の動特性を突然変化させ、復元力の低下をもたらす。接合部それ自体にはり以外の損傷は見られないが、地震動によっては、長周期の大きな応答変位をひき起す可能性がある。
- (3) 繰返し荷重を対象にした高力ボルト接合部の設計方法を確立するには、いろいろな荷重パターンに対する接合部の挙動を詳細に調べる必要がある。その際、りを許容するかどうかの判断は、大変形による二次部材の損傷や、りの際の大きな衝撃音まで含めて論じられねばならない。二次部材の崩壊やボルトりの衝撃音は、たとえ主要構造体に損傷がなくても、地震時にパニックを誘発する恐れがあるからである。

## 6. 謝 辞

本解析で用いたはり試験体は鋼材倶楽部の「鉄骨加工精度と強度に関する研究委員会」の援助によって作成したものである。上記委員会の関係者に謝意を表す。

なお、フーリエスペクトル解析は、東大の大崎順彦教授作成のプログラムによるものである。ここに記して謝意を表す。  
(1977年2月28日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 高梨, 宇田川, 関, 岡田, 田中, 電算機一試験機オンラインシステムによる構造物の非線形地震応答解析, 『日本建築学会論文報告集, 229号, 50年3月』
- 2) K. Takanashi, K. Udagawa and H. Tanaka, "A Simulation of Earthquake of Steel Buildings", Pre-print of 6th World Conference of Earthquake Engineering, Jan. 1977
- 3) 田中 尚 『構造物非線形振動解析のための小型電算機一試験機オンラインシステム, 『生産研究, 27巻, 12号, 50年12月』