

[188] 八戸工業高等専門学校南棟の地震被害に関する考察

正会員 ○定本照正 (竹中工務店設計部)
 境 有紀 (東京大学大学院)
 南 忠夫 (東京大学地震研究所)
 正会員 青山博之 (東京大学工学部)

1. 序論

1968年十勝沖地震で被害を受けた八戸工業高等専門学校(以下、八戸高専と略称する)についての調査・研究^{1)~5)}は、被災直後から行なわれてきたが、当時の解析では南棟の1スパンを解析しているにとどまっておらず、各部材のせん断耐力も、軸力の考慮の有無、係数の違い等により、低く見積もられていた。それにもかかわらず、八戸港湾で記録された地震動による応答ではたいした被害も認められなかった。一方、超高層建築物や原子力発電所といった大規模建造物の建設が近年盛んに行なわれており、その耐震安全性の面でも、建設場所の地域性、入力地震動の強さ等に関心もたれている。

そこで本研究では、立地地盤による地震動への影響をも考慮に入れて八戸高専南棟の応答解析を再度行ない、その地震被害を検討したのち、入力地震動について考察を加える。

2. 解析建物の概要

八戸高専の平面略図を図-1に、主な柱の被害状況を図-2に示す。

八戸高専南棟は、鉄筋コンクリート構造3階建て(一部2階建て)で、桁行方向は4mの均等スパン、梁間方向は西側で7mと2.5mの2スパン、東側で6mと6mの2スパンとなっている。今回解析する桁行方向は純ラーメン構造で、その一次固有周期は0.14秒であり、西側南ラーメンには15cm厚さの腰壁が、西側北ラーメンには15cm厚さの腰壁と垂れ壁がついている。その被害状況は1階に集中しており、南側ラーメン西側の柱(A柱)は柱頭柱脚で曲げ破壊、東側の柱(D柱)は柱頭柱脚で曲げせん断破壊、北側ラーメン西側の柱(C柱)は大きくせん断破壊していた。この建物の桁行方向について第2次耐震診断を行なうと構造耐震指標Isが0.31となり、耐震性能に問題があると判断される。

使用材料強度³⁾⁵⁾は、設計計算書によると普通コンクリート圧縮強度は $F_c=180\text{kg/cm}^2$ 、普通丸鋼はSS39(現SR24)となっているが、被災後の調査・実験によると、コンクリート強度は1階で $F_c=120\text{kg/cm}^2$ 、2・3

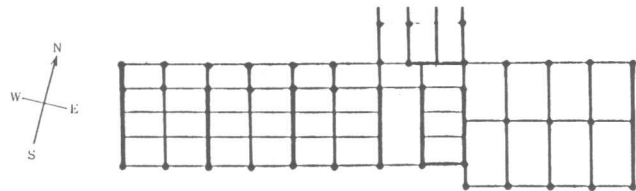


図-1 八戸高専平面略図(文献1より)

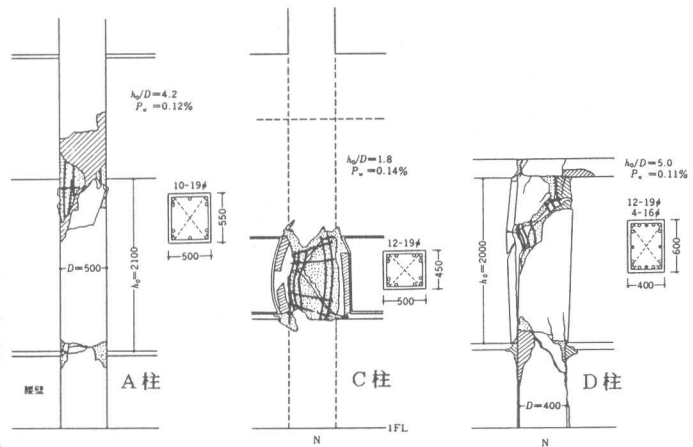


図-2 主な柱の被害状況(文献1より)

表-1 1階各柱の終局強度と破壊形式

柱種類	A	B	C	D	E
N/bD (kg/cm ²)	22.2	26.0	14.7	19.3	12.1
曲げ Qu (t)	26.8	23.4	52.3	25.7	10.1
せん断 Qu (t)	30.3	29.2	36.5	25.5	17.5
破壊形式	曲げ	曲げ	せん断	曲げせん断	曲げ

階で $F_c=200\text{kg/cm}^2$ 、鉄筋は $\sigma_y=36.5\text{kg/mm}^2$ 、 $\sigma_b=49.8\text{kg/mm}^2$ であった。

柱軸力を考慮して計算した終局強度及びそれから推定される破壊形式を表-1に示す。この結果は、実際の震害状況¹⁾と良い一致を示している。

3. 入力地震動

弾塑性地震応答解析に用いる地震動としては、十勝沖地震の際に入戸港湾で記録された東西成分と、それをもとに作成した推定地震動とする。推定地震動の作成にあたっては、伝達マトリックス法を用い、地盤の粘弾性モデルを履歴減衰型として、八戸港湾に入射したのと同じ地震動が約6km離れた八戸高専の基盤にも入射したと仮定して作成する。地震波形を図-3に示す。

記録地震波と推定地震波とを比較すると、最大加速度で1.93倍、最大速度で1.49倍、2%減衰のスペクトル強度で1.41倍となる。また、弾性応答スペクトルで地震動の卓越周期をみると、記録地震動では0.35, 0.5, 0.8, 1.2秒にあったピークが、推定地震動では0.5, 0.8秒となっている。

4. 解析建物のモデル化

八戸高専南棟を3質点のせん断型モデルに置換する。その際、表-1に示す破壊形式に従い、曲げ破壊先行型部材はDegrading Tri-linear Modelで表現する。せん断破壊型部材は、部材の総変形は、曲げ変形とせん断変形の和であるとして、曲げ変形を初期剛性が非常に大きいBi-linear Modelで、せん断変形を耐力低下を考えたPseudo-slip Model²⁾4)で置き換え、その2つのモデルを直列につなげて考えることにより表現する。(図-4)更に、脆性部材モデルによる応答の違いをみるため、原点指向型モデルとしてOrigin-oriented Modelを、スリップ型モデルとしてBi-linear Slip Modelを用いた場合の弾塑性応答も考える。この2つのモデルは、降伏後の剛性をゼロとし、耐力低下を考慮していない。

第1層の包絡線(図-5)をみると、小変形ではC柱の負担せん断力が大きく、そのC柱がせん断降伏した後、耐力の上昇が一時的にとまるが、他の柱の負担せん断力が増加する

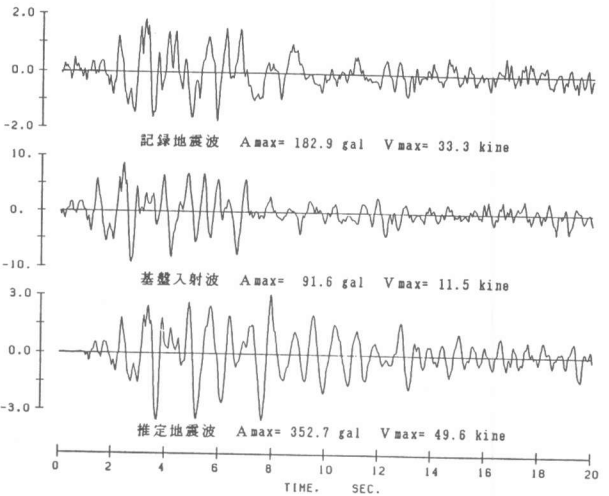


図-3 地震波形

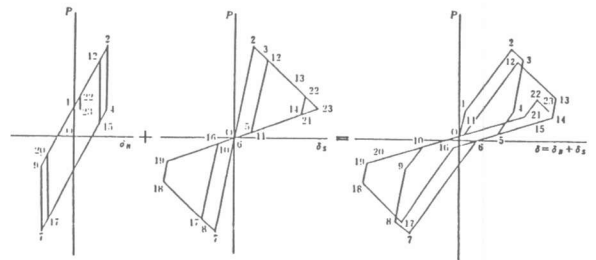


図-4 使用履歴モデル(文献2より)

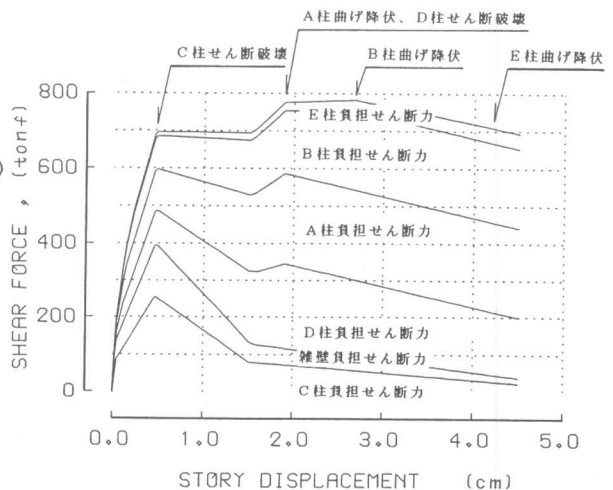


図-5 第1層包絡線

ことにより、最大耐力 783ton ベースシア係数 0.45 となる。

5. 弾塑性地震応答解析

弾塑性地震応答解析には、数値積分として Newmark- β 法を用い、時間刻みを 1/500 秒、応答計算時間を 20 秒とした。

記録地震動を用いて解析を行なった時の 1 階の変位応答時刻歴と荷重変形履歴を図-6 に、推定地震動を用いて解析を行なった時の変位応答時刻歴と荷重変形履歴を図-7 に示す。

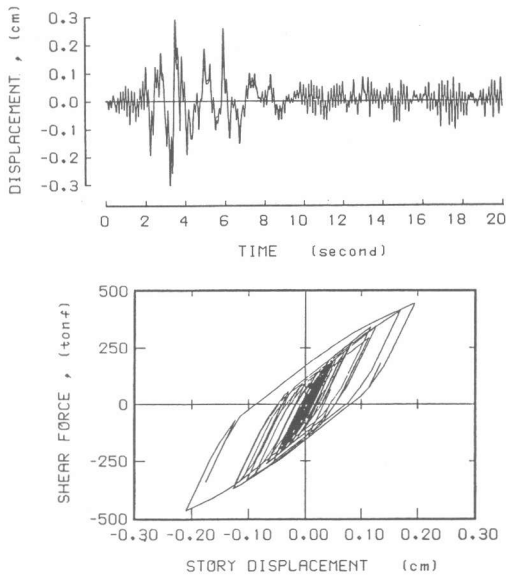


図-6 記録地震動による応答

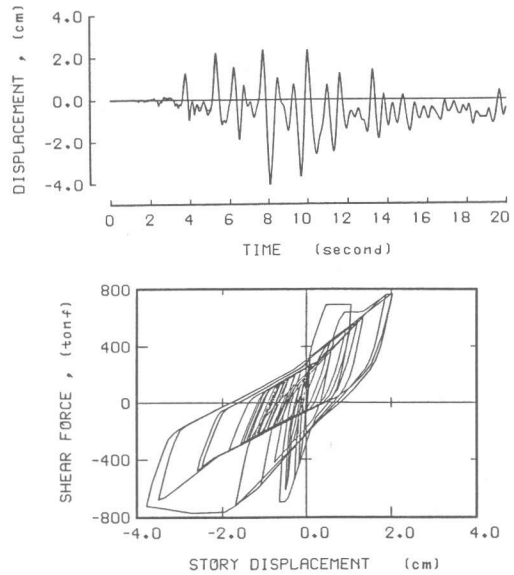


図-7 推定地震動による応答

記録地震動による応答では、建物 1 階での層間変形最大値は 0.21cm であり、この段階ではまだどの柱も降伏には達しておらず、A 柱、C 柱、D 柱にひび割れが発生している程度であり、もしこの地震動が実際に八戸高専南棟に作用していたならば、実際の被害ほど大きな被害は生じなかったと思われる。しかし推定地震動による応答では、建物 1 階での層間変形最大値は 8.08 秒のときに実に 3.79cm にも達しており、E 柱を除く全ての柱が降伏に達している。その変位応答時刻歴と荷重変形履歴をみると、C 柱が降伏に達する 3.67 秒以後、1 層の層間剛性が著しく低下し、建物の周期が長くなっているのが認められる。記録地震動による応答では実際の被害が説明できないけれども、立地表層地盤を考えに入れて作成した八戸高専推定地震動による応答では、実際の被害と似た結果を示す。

脆性部材をあらわす履歴モデルを換えた場合の 1 層の層間変形では、原点指向型モデルの場合が一番小さく 7.674 秒で 1.013cm をとり、次いでスリップ型モデルの場合で 7.694 秒で 1.413cm となり、耐力低下型モデルの場合が 8.080 秒で 3.788cm と一番大きくなる。これは、スリップ性状・負勾配・耐力低下等の影響によるものであろう。

次に、入力地震動の強さについて考えるため、1 階の応答変位がある一定値（応答基準値と称する。この論文では 1 階 C 柱の変形で 1.5cm）⁴⁾ になる時の、入力地震動の最大加

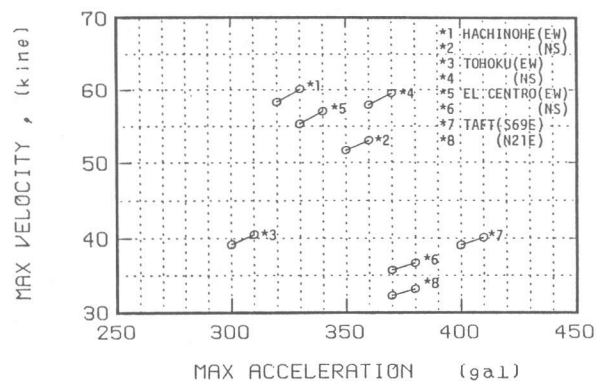


図-8 基準応答時の最大加速度・最大速度

速度、最大速度の関係を図-8に示す。

最大加速度で各地震動をみると、八戸高専南棟に対する影響力の強さでは、1978年宮城県沖地震の際に東北大学で記録された東西成分の地震動が一番強く、300gal前後で応答基準値に達しているのに対し、タフトS69E成分では、400galを越えないと応答基準値には達しない。また、最大速度では、タフトN21E成分では32kine程度で応答基準値に達するのに対し、八戸港湾東西成分、東北大学南北成分ではその倍近い60kine弱にまでならないと応答基準値には達しない。この8つの地震動では、八戸高専南棟に対する影響力の強さに関して、最大加速度では適当にばらついているが、最大速度では35kine付近と55kine付近との2つに大きく分かれる。

履歴モデルとして Degrading Tri-linear Model を用い、八戸港湾東西成分による短周期側の応答塑性率が1になるように最大加速度や最大速度を決めた場合の1質点の弾塑性応答スペクトル(図-9)で短周期付近をみても、最大速度で基準化した方は、八戸高専に対する影響力でみたように2つに分かれ、八戸港湾の2方向成分、東北大学南北成分、エルセントロ東西成分では塑性率が4以下におさまるのに対し、東北大学東西成分、エルセントロ南北成分、タフト2方向成分では塑性率が非常に大きな値になってしまう。しかし、最大加速度で基準化したほうは、ばらつきはあるものの、最大速度で基準化したものに比べるとそのばらつきが小さい。この傾向は、塑性率は異なるけれども、他の履歴モデルを使用した際にも見られる。

6. 結論

以上のことより、次のことがいえる。

- ① 八戸高専南棟が1968年の十勝沖地震で大きな被害を受けた原因は、コンクリート強度が設計強度よりも低かったこと、短柱にせん断力が集中したこと等の、建物に関する原因以外に、立地表層地盤による地震動の増幅が大きかったことがあげられる。
- ② 脆性部材を含む建物をモデル化してその応答を比較する場合、脆性部材をあらわす履歴モデルと入力地震動との関係により応答結果に大きな違いが生じる。
- ③ 八戸高専南棟のような短周期建物では、最大速度よりも最大加速度による基準化のほうが、その応答値は良好な結果を示す。

参考文献

- 1) 日本建築学会：1968年十勝沖地震災害調査報告，1968，PP.483-534
- 2) 梅村魁編著：鉄筋コンクリート建物の動的耐震設計法，技報堂，PP.341-361
- 3) 大沢、青山、他：八戸工業高等専門学校の振動および破壊実験 その1～3，学会論文報告集
- 4) 青山、他：八戸工業高等専門学校の被害に関する解析 その1～4，学会梗概集，関東支部
- 5) Aoyama, H. et al. : A STUDY ON THE CAUSE OF DAMAGE TO THE HACHINOHE TECHNICAL COLLEGE DUE TO 1968 TOKACHI-OKI EARTHQUAKE (PART1～2)，第3回日本地震工学シンポジウム
- 6) 近藤建築設計事務所：八戸高専構造計算書及び関係図面

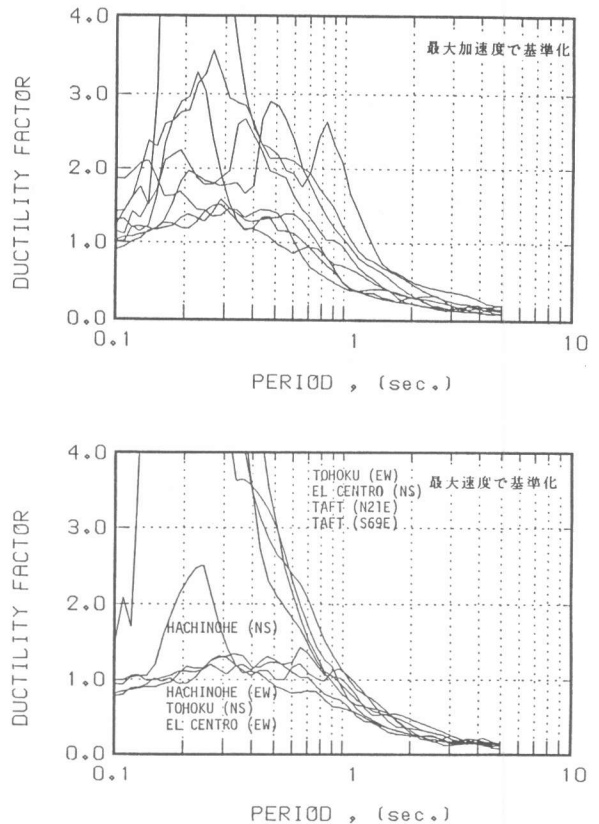


図-9 弾塑性応答スペクトル