

機器・配管の機能維持に関する確認

小委員会幹事
 永田聖二（電力中央研究所）

マニュアル、照査例、技術資料の関連箇所²

【マニュアル】

1章 照査の基本

1.4 機器・配管の機能維持に関わる確認事項

1.4.1 基本的な機能に関わる確認

1.4.2 間接支持機能に関わる確認

【照査例】

I. 二次元材料非線形の地震応答解析を用いた照査例

【技術資料】

II. 構造物の地震時損傷を考慮したアンカーの耐力に関する実験的検討

マニュアル、照査例、技術資料の関連箇所³

【マニュアル】

1章 照査の基本

1.4 機器・配管の機能維持に関わる確認事項

1.4.1 基本的な機能に関わる確認

1.4.2 間接支持機能に関わる確認

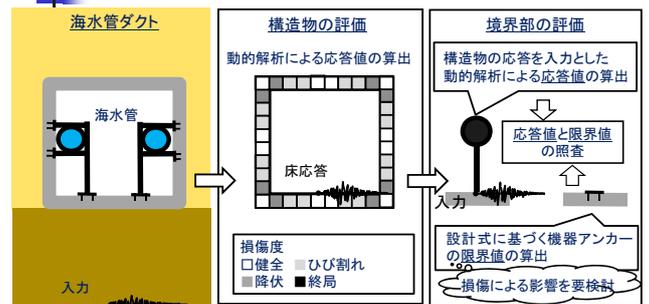
【照査例】

I. 二次元材料非線形の地震応答解析を用いた照査例

【技術資料】

II. 構造物の地震時損傷を考慮したアンカーの耐力に関する実験的検討

背景および目的⁴



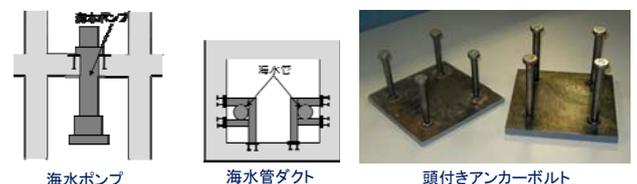
- ✓ 構造物では、終局限界に達しない範囲であれば、損傷は性能照査上許容される。
- ✓ 損傷が機器基部周辺に及んだ場合、アンカーの耐力などが変化する可能性がある。
- ✓ RC製構造物の地震時損傷が機器・配管との境界部に及んだ場合を想定して、アンカーの耐力評価のための実験を、静的ならびに動的な荷重条件下で実施する。

アンカーの耐力評価に関する既往の研究⁵

実験方法	(a) 引張荷重による方法	(b) 水平荷重による方法
実験のイメージ		
主な特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・単純な条件での引抜耐力などの基礎データ取得向き ・荷重条件として厳しく結果が保守的となる傾向あり 	<ul style="list-style-type: none"> ・引張とせん断を作用させることで、より実態に近い荷重条件下での耐力評価が可能 ・振動台実験などの動的応答と併せて評価が可能

- ✓ 構造物の地震時損傷がアンカーの耐力に及ぼす影響については、建築構造物の面内せん断によるひび割れを想定した検討が多く行われている。
- ✓ 土木構造物の面外曲げによるひび割れを想定した検討事例は非常に少なく、特に水平荷重荷重で、RC製構造物の地震時損傷による影響を評価した研究事例はない。
- ✓ 本検討では、水平荷重荷重による方法を取り入れた検討を行う。

機器配管によく用いられるアンカー⁶

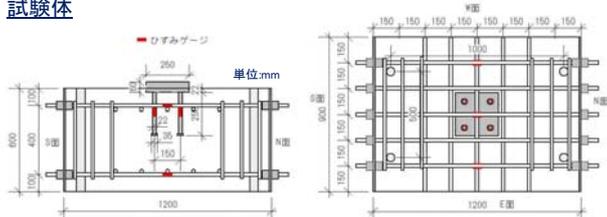


- ✓ 既設構造物では、重要な機器・配管は、構造物隅角部を避けて設置され、アンカーの長さはコンクリートのかぶり(100mm)よりも十分深く設定される。
- ✓ 本検討では、機器配管の中で、構造物の隅角部近傍に設置される可能性があり、アンカー長さがやや短めとなる傾向がある海水管を想定して検討を行う。
- ✓ アンカー長さについては、安全側の評価となるように配慮して、重要機器を支持するアンカーとしてはやや短めの設定となる250mmとし、アンカー定着部周辺で発生する構造物の地震時損傷として、構造物の部材降伏程度のひび割れを想定する。

試験体および材料特性

7

試験体



材料特性

アンカー (JIS 1198)		コンクリート (24MPa)		主筋 (D19 SD345)	
設計基準	材料試験	設計基準	材料試験	設計基準	材料試験
降伏強度 (MPa)	235	圧縮強度 (MPa)	24	降伏強度 (MPa)	345
引張強度 (MPa)	400	引張強度 (MPa)	—	引張強度 (MPa)	490
	464.1		3.2		582.9

許容耐力に対する裕度

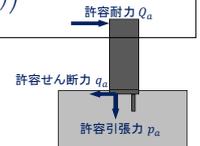
8

許容耐力の算定方法 (2010AIJ指針)

引張力のみが作用する時のアンカー1本当たりの許容引張力 $p_a = \min(p_{ac}, p_{ab})$	
コンクリートのコーン状破壊で決まる場合	$p_{ac} = \phi_{pac} \cdot 0.31 \sqrt{f'_c} \cdot A_c$
アンカーの降伏で決まる場合	$p_{ab} = \phi_{pab} \cdot f_y \cdot A_b$
せん断力のみが作用する時のアンカー1本当たりの許容せん断力 $q_a = \min(q_{ac}, q_{ab})$	
コンクリートの支圧破壊で決まる場合	$q_{ac} = \phi_{qac} \cdot 0.5 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot E_c \cdot A_b$
アンカーの降伏で決まる場合	$q_{ab} = \phi_{qab} \cdot 0.7 \cdot f_y \cdot A_b$
水平荷重作用位置における許容水平耐力 Q_a	
モーメントの釣合いと、引張とせん断の同時作用の影響を考慮して許容耐力を算定	
$Q_a = \frac{2p_a \cdot q_a}{h\sqrt{\alpha \cdot p_a^2 + q_a^2}} \left(\left(B - b - \frac{x}{3} \right) - \left(b - \frac{x}{3} \right) \left(\frac{x - b}{B - b - x} \right) \right)$	
ここに、 $x = (-4n \cdot A_b + \sqrt{(4n \cdot A_b)^2 + 4n \cdot A_b \cdot B^2}) / B$	

⇒ 水平力作用位置における許容耐力 Q_a

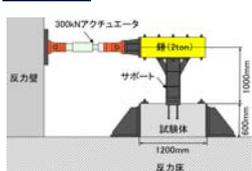
- ・ 設計基準値ベース: 30.4kN
- ・ 材料試験値ベース: 43.0kN



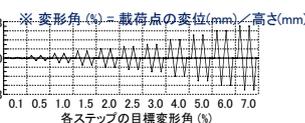
実験の条件

9

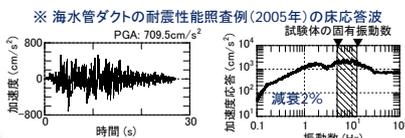
静的実験



実験ケース	初期損傷	実験方法
S-0	無し	静的実験
S-1	有り	
D-0	無し	動的実験
D-1	有り	



動的実験



- ・ 入力倍率20%を初期値として、20%ずつ最大200%まで増加させる。

初期損傷の導入

10

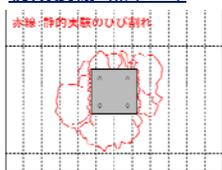


- ✓ 初期損傷実験では、RC製部材の両端にスパン延長治具を設置し、鉛直アクチュエータを2本取り付けて、2点支持2載荷によって、試験体中央のアンカー定着部付近に曲げひび割れを与えた。
- ✓ RC部材が曲げ降伏に達したかどうかについては、主筋のひずみレベルや曲げモーメントと曲率の関係をモニターで確認しながら判断した。
- ✓ 載荷時の最大ひび割れ幅は、初期損傷を部材降伏とした場合は、試験体によってある程度ばらつきが概ね2.5mm程度であるが、除荷することで0.5mm程度閉口し、概ね2mm程度になることを確認した。

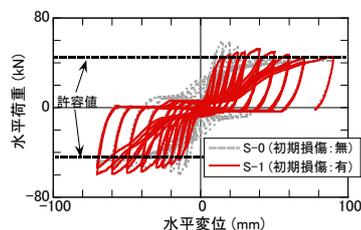
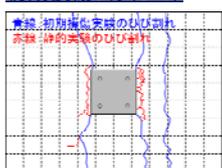
静的実験による耐力

11

初期損傷: 無 (S-0)



初期損傷: 有 (S-1)

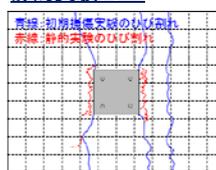


- ・ S-0では、許容値を上回る耐力を発揮しており、ポストピークでも安定した履歴特性となっている。
- ・ S-1でも、最大耐力は許容値を上回っており、S-0とも遜色ない耐力やねばり強さを発揮している。

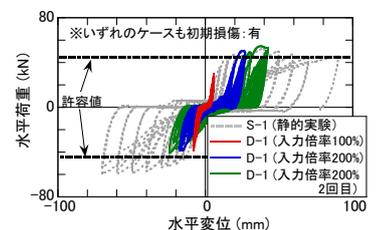
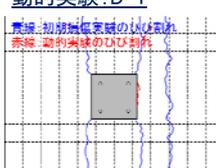
動的実験による耐力 (初期損傷: 有)

12

静的実験: S-1



動的実験: D-1



- ・ D-1の耐力は、許容値を上回っており、応答変位が増大しても、粘り強さを発揮している。
- ・ D-1とS-1の履歴特性はよく対応しており静的実験に基づく履歴特性から動的応答を予測可能であることを示唆している。

実験結果のまとめ

13

<実験による主な成果>

- ✓ RC構造物の地震時損傷を考慮したアンカーの耐力評価に関する実験を行った結果、今回のようにアンカー長が250mm程度あり、かつ、定着部周辺におけるRC部材の損傷が曲げ降伏程度であれば、アンカーは損傷がない場合と遜色ない定着性能を保持できることを、静的ならびに動的な荷重条件下で確認した。

<研究面での今後の展開>

- ✓ RC部材のひび割れ発生状況とアンカー定着性能の関係をより詳細に分析するため、解析的検討を実施する。
- ✓ 解析に基づくアンカーの耐力評価について検討を行う。

マニュアル、照査例、技術資料の関連箇所¹⁴

【マニュアル】

1章 照査の基本

1.4 機器・配管の機能維持に関わる確認事項

1.4.1 基本的な機能に関わる確認

1.4.2 間接支持機能に関わる確認

【照査例】

I. 二次元材料非線形の地震応答解析を用いた照査例

【技術資料】

II. 構造物の地震時損傷を考慮したアンカーの耐力に関する実験的検討

マニュアルの記載内容

15

1.4 機器・配管の機能維持に関わる確認事項

1.4.1 基本的な機能に関わる確認

Sクラスの機器・配管系の機能維持が求められる構造物に対しては、『機器・配管の機能維持のために、機器側との調整を通して設けられる構造的制約条件を満たす(機器の移動を維持する、配管を潰さないなど)』ことも必要となる。この場合、例えば、ポンプの機能維持を保證するための床応答加速度や、ポンプが貫通する床間の層間変位、配管の接続部の相対変位などを確認し、機器側と調整する。

マニュアルの記載内容

16

1.4 機器・配管の機能維持に関わる確認事項

1.4.2 間接支持機能に関わる確認

Sクラスの機器・配管系の間接支持機能が求められる構造物の耐震性能照査において、部材降伏以上の損傷が認められた場合、構造物の地震時損傷による機器・配管の支持性能への影響についても、必要に応じて検討する。具体的には、以下のいずれかを確認するとよい(技術資料IIを参照)。

- ① 機器・配管のアンカー定着部の損傷が部材降伏以内となっていることを確認する(照査例Iを参照)。
- ② アンカー定着部の損傷が部材降伏を超えると照査の過程で認められた場合には、既往研究の調査、あるいは実験や解析などを適宜行って、支持性能が確保されることを確認する。

支持性能が確保されないと判断された場合には、必要に応じて適切な対策を実施する。

マニュアル、照査例、技術資料の関連箇所¹⁷

【マニュアル】

1章 照査の基本

1.4 機器・配管の機能維持に関わる確認事項

1.4.1 基本的な機能に関わる確認

1.4.2 間接支持機能に関わる確認

【照査例】

I. 二次元材料非線形の地震応答解析を用いた照査例

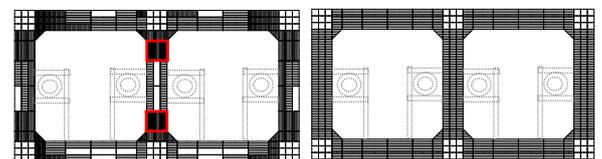
【技術資料】

II. 構造物の地震時損傷を考慮したアンカーの耐力に関する実験的検討

照査例(境界部関連)

18

I. 二次元材料非線形の地震応答解析を用いた照査例



(a) 損傷の程度 (引張ひずみ)

(b) 損傷の程度 (圧縮ひずみ)

「機器・配管のアンカー定着部の損傷が部材降伏以内となっていることを確認する」に関する一例を示している。



まとめ

19

<実験による主な成果>

- ✓ RC構造物の地震時損傷を考慮したアンカーの耐力評価に関する実験を行った結果、今回のようにアンカー長が250mm程度あり、かつ、定着部周辺におけるRC部材の損傷が曲げ降伏程度であれば、アンカーは損傷がない場合と遜色ない定着性能を保持できることを、静的ならびに動的な荷重条件下で確認した。

<マニュアル、照査例への反映>

- ✓ 実験結果を受けて、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査マニュアルでは、Sクラスの機器配管の間接支持機能が求められる構造物の照査において、部材降伏以上の損傷が確認された場合には、アンカー定着部付近の損傷が部材降伏以内となっていることを確認する必要がある旨を記すこととした。
- ✓ ただし、アンカー定着部付近の損傷が部材降伏を超えると照査上で確認された場合、本検討の結果だけではその影響度合いを評価することは難しいことから、別途、実験や解析等による検討を行う必要がある旨も記した。



20

ご静聴ありがとうございました。